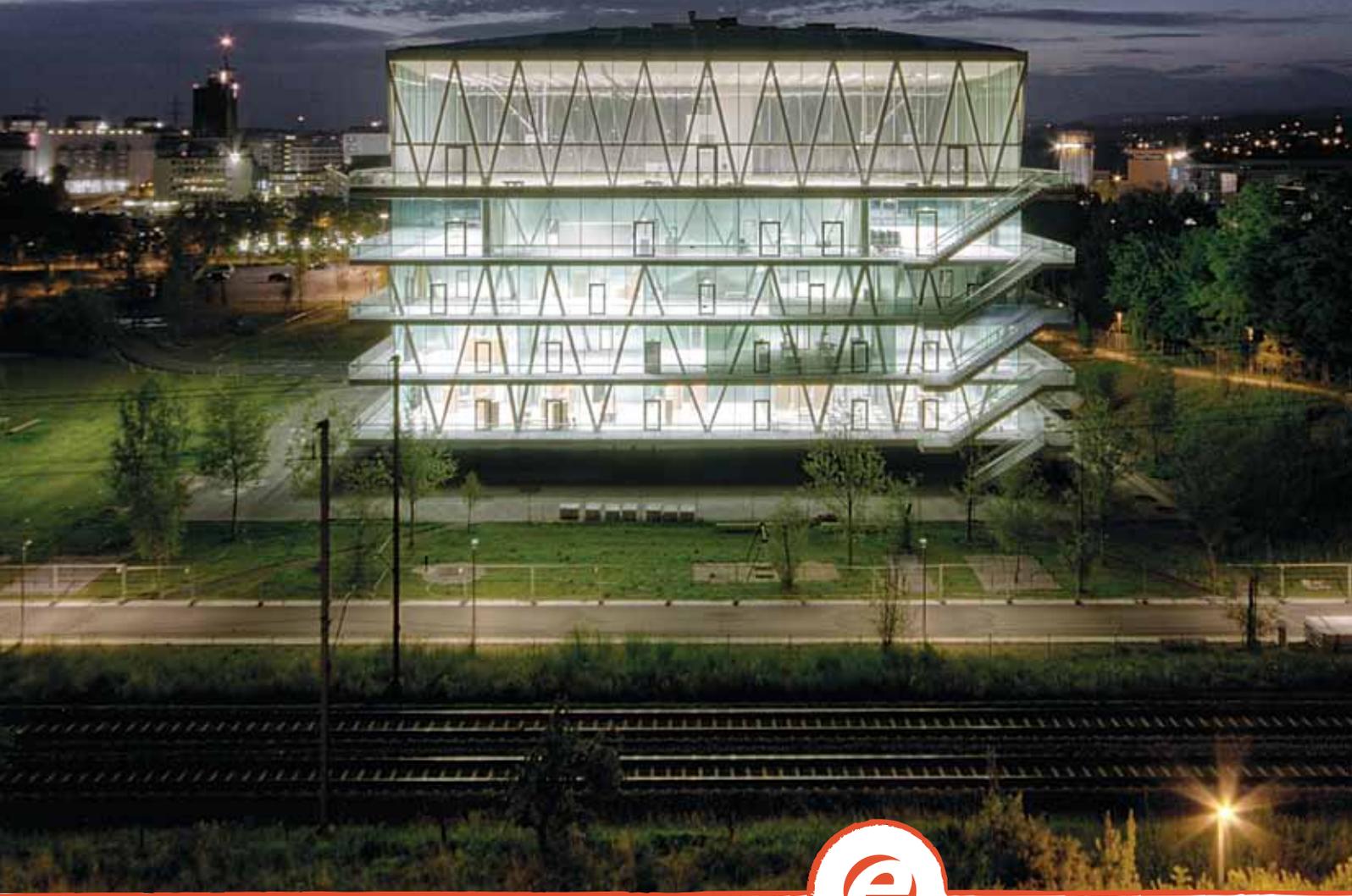


Stefan Gasser | Daniel Tschudy

# Licht im Haus

## Energieeffiziente Beleuchtung



energieschweiz.ch



# Inhalt

<b>1. Licht</b>	<b>5</b>		
1.1	Erforschung des Lichts	5	
1.2	Elektromagnetische Strahlung	6	
1.3	Sehen und wahrnehmen	7	
1.4	Lichttechnische Begriffe	14	
1.5	Lichtmarkt	19	
<b>2. Energetische Bewertung</b>	<b>21</b>		
2.1	Energieetikette	21	
2.2	Glühlampenverbot	22	
2.3	Norm SIA 380/4	28	
2.4	Euronorm EN 12464	44	
2.5	Minergie-Standard	48	
2.6	Beleuchtungs-Check für Zweckbauten	51	
2.7	Qualitätssicherung Energieeffizienz	57	
<b>3. Lampen</b>	<b>59</b>		
3.1	Typologie der Lampen	59	
3.2	Temperaturstrahler	60	
3.3	Leuchtstofflampen	62	
3.4	Entladungslampen (Halogenmetall dampflampe)	67	
3.5	Messen von Lampen	67	
3.6	Verbreitete Irrtümer über Sparlampen	70	
<b>4. LED – Licht emittierende Dioden</b>	<b>71</b>		
4.1	Eigenschaften und Betriebsverhalten	71	
4.2	Vorteile der LED	73	
4.3	Herausforderungen	75	
4.4	Produkte und Anwendungen	80	
4.5	LED-Lampen im Test	81	
4.6	Qualitäts-Charta für LED	85	
4.7	Irrtümer über LED	86	
<b>5. Leuchten</b>	<b>89</b>		
5.1	Profi- und Wohnleuchten	89	
5.2	Typologie der Leuchten	92	
5.3	Messen von Leuchten	95	
5.4	Minergie-Leuchten	97	
<b>6. Steuern und Regeln</b>	<b>101</b>		
6.1	Grundlagen	101	
6.2	Sensoren	103	
6.3	Wirkung und Eigenenergie- verbrauch	108	
6.4	Effizienz von Regelungen (Messprojekt)	109	
6.5	Korridorbeleuchtung mit LED (Pilotprojekt)	112	
<b>7. Planung und Optimierung</b>	<b>117</b>		
7.1	Grundlagen der Beleuch- tungsplanung	117	
7.2	Beispiel einer Optimierung	119	
7.3	Nutzung von Tageslicht und Lichtregelung	124	
7.4	Betriebsoptimierung in bestehenden Bauten	128	
7.5	Wirtschaftlichkeit	132	
7.6	Sparpotenziale bei der Be- leuchtung in Zweckbauten	133	
7.7	Nutzung der Dunkelheit	134	
<b>8. Praxisbeispiele</b>	<b>135</b>		
8.1	Schulhaus Leutschenbach	135	
8.2	Kongresszentrum Davos	139	
8.3	Technorama Winterthur	143	
8.4	Psychiatrisches Zentrum Appenzell	147	
8.5	Kantonsbibliothek Liestal	151	
8.6	Triemli Stadtspital	155	
8.7	Schauspielhaus Zürich	159	
8.8	Lakeside Luzern	160	
8.9	AZ Medienhaus	161	
8.10	Bürohaus Helvetia	162	
8.11	LED im Coop Pfäffikon	165	
8.12	Wohnhaus mit optimierter Beleuchtung	168	
<b>9. Anhang</b>	<b>171</b>		
9.1	Autoren	171	
9.2	Weiterführende Infos	172	
9.3	Schlagwortverzeichnis	174	

## Impressum

### Licht im Haus – Energieeffiziente Beleuchtung

**Herausgeberin:** Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau

**Autoren:** Stefan Gasser, Daniel Tschudy

**Projektleitung:** Fachhochschule Nordwestschweiz; Institut Energie am Bau, Muttenz; Armin Binz, Barbara Zehnder

**Lektorat und Seitenherstellung:** Faktor Journalisten AG, Zürich; Othmar Humm, Christine Sidler

Diese Publikation ist Teil der Fachbuchreihe «Nachhaltiges Bauen und Erneuern». Grundlage bilden die Zertifikatskurse des Masterstudienganges «Energie und Nachhaltigkeit am Bau» ([www.enbau.ch](http://www.enbau.ch)), ein Weiterbildungsangebot von fünf schweizerischen Fachhochschulen. Die Publikation wurde durch das Bundesamt für Energie BFE/EnergieSchweiz und die Konferenz Kantonalen Energiedirektoren (EnDK) finanziert.

**Titelbild:** Schulhaus Leutschenbach in Zürich (Amt für Hochbauten)

**Bezug:** Als Download (kostenfrei) unter [www.energiewissen.ch](http://www.energiewissen.ch) oder als Print beim Faktor Verlag, [info@faktor.ch](mailto:info@faktor.ch) oder [www.faktor.ch](http://www.faktor.ch)

Januar 2012  
ISBN: 978-3-905711-15-8

### Dank für die Unterstützung

Die Beleuchtungsfirmen Regent und Zumtobel sowie das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich haben die Realisierung dieses Buches finanziell unterstützt.



**Stadt Zürich**  
Amt für Hochbauten



**ZUMTOBEL**



**REGENT**  
L i g h t i n g

Einleitung

# Gutes Licht

Gut beleuchtete Räume haben für den Wohn- und Arbeitskomfort eine enorme Bedeutung. Denn Menschen in unserer Klimaregion verbringen ihre Zeit überwiegend in Häusern. Tageslicht respektive gutes Kunstlicht steigern Wohlbefinden und Konzentrationsfähigkeit. Dass diese gestalterischen Qualitäten auch mit geringem Stromeinsatz möglich sind, davon handelt dieses Buch.

Mit effizienten Beleuchtungen lassen sich, im Vergleich zu üblichen Installationen, 80 Prozent des Elektrizitätsbedarfes einsparen. Möglich ist dieser Effekt ohne Einbußen im Sehkomfort. Voraussetzung ist allerdings aktuelles Fachwissen, eine präzise Planung sowie eine sorgfältige Auswahl aller beteiligten Komponenten, also der Lampen, Vorschaltgeräte und Leuchten ebenso wie von Steuerungs- und Regelungskomponenten. Die Herausforderung für Architekten und Gebäudetechnikplaner besteht darin, eine hohe Beleuchtungsqualität mit einem geringen Elektrizitätsbedarf zu kombinieren.

Gutes Licht ist ganz wesentlich ein Resultat der räumlichen Bedingungen, also der Geometrie des Raumes, der Beschaffenheit und der Farben der umgebenden Oberflächen. Es ist deshalb kein Zufall, dass ein Ingenieur und ein Architekt gemeinsam für die Autorenschaft dieses Fachbuches verantwortlich zeichnen. Eine interdisziplinäre Arbeitsweise ermöglicht auch bessere Beleuchtungen. Denn gutes Licht in einem Raum ist gleichermaßen Technik und Architektur.

Stefan Gasser, Daniel Tschudy

## Kapitel 1

# Licht

### 1.1 Erforschung des Lichts

Über 90 % unserer Wahrnehmungen erfolgen über das Auge. Für das Erkennen unserer Umgebung und für die Orientierung benötigen wir Licht (Abbildung 2).

#### Die wissenschaftliche Erforschung des Lichts

■ Vor 2500 Jahren nahmen griechische Philosophen an, Licht werde aus den Augen auf die Objekte geworfen, um sie wie mit Fingern zu betasten. Dass nicht der Mensch die Bilder projiziert, sondern Lichtbilder der Aussenwelt in unsere Augen projiziert werden, nach dem Prinzip der «Camera obscura», wurde erst anfangs des 17. Jahrhunderts entdeckt.

■ Der Astronom **Galilei** (1564 bis 1642) versuchte als Erster die Lichtgeschwindigkeit zu messen, die Zeit, die ein Lichtsignal benötigt, um einen weit entfernten Ort zu erreichen. Er musste feststellen, dass mit dieser Methode nur die Reaktionszeit und nicht die Lichtgeschwindigkeit gemessen werden konnte.

■ **Newton** (1642 bis 1727), einer der Begründer der klassischen Physik, stellte Licht als Strom kleiner Teilchen dar, der von allen leuchtenden Gegenständen ausgeht (Korpuskeltheorie).

■ **Huygens** (1629 bis 1659), Physiker, verwendete für die Erklärung des Lichtes das Wellenmodell (Wellentheorie). Energieimpulse oder Schwingungen würden so übertragen, wie sich Wellen im Wasser fortpflanzen, jedoch im Raum und nicht an einer Oberfläche wie beim Wasser – ein Irrtum, wie sich später herausstellte.

■ Der dänische Astronom **Römer** (1644 bis 1710) stellte fest, dass die Umlaufzeiten der Jupitermonde verschieden sind, was physikalisch nicht erklärbar war. Die Zeitdifferenzen ergaben sich aus den verschiedenen Abständen des Jupiters zur Erde und der begrenzten Lichtgeschwindigkeit, die das beobachtete Resultat verfälschten. Diese Beobachtung zeigte erstmals, dass das, was wir sehen und auch messen, nicht unbedingt der Realität entspricht. Kurze Zeit später war es möglich, die Lichtge-

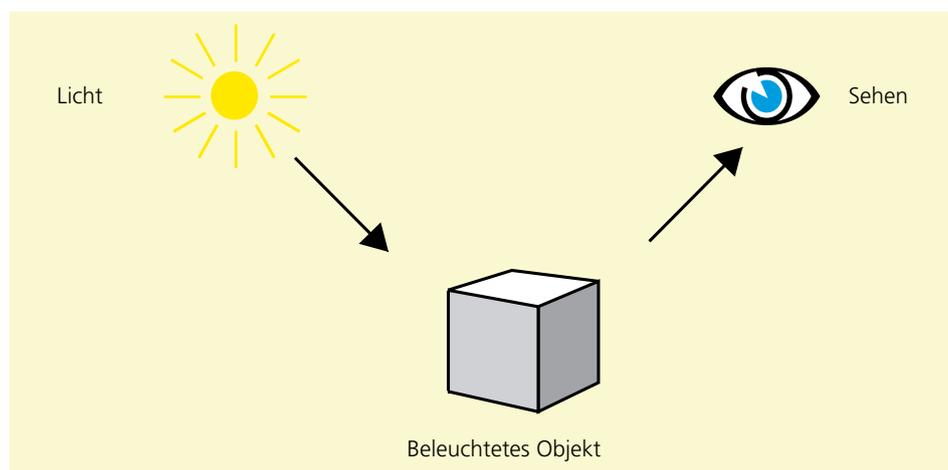


Abbildung 1:  
Licht, Beleuchtung,  
Sehen



Abbildung 2:  
Die Galerie der  
Lichtphysiker

schwindigkeit mit einem mechanischen Apparat erstmals zu messen.

■ Der englische Physiker **Maxwell** (1831 bis 1879) entwickelte die Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen im Vakuum und in der Atmosphäre. Er begründete damit die Elektrodynamik und erklärte als Erster, dass auch Licht ins Spektrum der elektromagnetischen Wellen gehört.

■ **Einstein** (1879 bis 1955) revolutionierte alle Vorstellungen der klassischen Physik. Die Relativität von Raum, Zeit, Energie und Materie basiert zu einem grossen Teil auf der Untersuchung des Lichtes und dessen begrenzter Geschwindigkeit.

## 1.2 Elektromagnetische Strahlung

Ein bedeutender Unterschied zwischen Lichtwellen und elastischen Wellen wie Wasser- und Schallwellen besteht darin, dass diese Wasser, Luft oder ein Gas brauchen, um sich ausbreiten zu können. Licht erreicht uns jedoch auch durch den leeren Raum, z.B. von einem Stern der Milchstrasse. Die Länge der Lichtwellen ist recht klein, kleiner als ein Tausendstel Millime-

ter. Licht mit einer Wellenlänge von etwa 600 nm sehen wir als rotes Licht, Licht mit einer Wellenlänge 400 nm als blaues Licht. Wellenlänge und Farbe stehen also in direktem Zusammenhang. Die für das menschliche Auge sichtbaren Lichtwellen ordnen sich im «Mittelfeld» der elektromagnetischen Wellen ein (Abbildung 3 und Tabelle 1).

Inwiefern elektromagnetische Wellen für den menschlichen Organismus schädlich sein können, wird intensiv diskutiert.

■ Von Gammastrahlen und Röntgenstrahlen ist eine Schädigung bekannt und nachgewiesen.

■ UV- und IR-Licht ist in zu hohen Dosen bekannterweise auch schädlich, allerdings ist sichtbares Licht (das zwischen UV und IR liegt) ebenso wesentlich für das Entstehen und Gedeihen von Menschen, Tieren und Pflanzen.

■ Für Mikrowellen und Radiowellen, zu denen das Wireless LAN und die Handynetze gehören, ist eine Schädlichkeit noch nicht nachgewiesen. Es ist aber vorstellbar, dass diese Wellen mit einer Wellenlänge im Zentimeterbereich mit dem menschlichen Organismus in Resonanz kommen könnten.

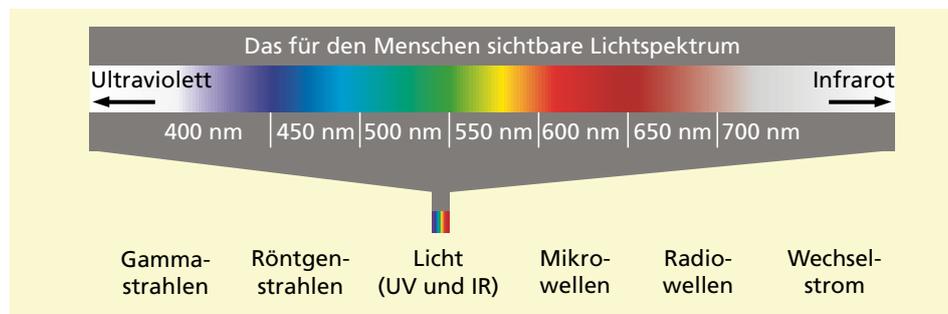


Abbildung 3:  
Das sichtbare Licht  
als elektromagnetische Welle

Strahlenquelle	Frequenz	Wellenlänge
Stromnetz	50 Hertz	6000 km
Sparlampe (EVG)	50 Kilohertz	6 km
UKW-Radio	100 Megahertz	3 m
Handynetz (GSM 900)	0,9 Gigahertz	33 cm
Mikrowelle, Radar, WLAN	2,5 Gigahertz	10 cm
Infrarot	300 Terahertz	1000 nm (= 0,001 mm)
Sichtbares Licht	430 THz bis 750 THz	700 nm bis 400 nm
Ultraviolett	1000 Terahertz	300 nm (= 0,0003 mm)
Röntgenstrahlen	1 000 000 Terahertz	0,3 nm
Gammastrahlung (Radioaktivität)	1 Mrd. Terahertz	0,0003 nm

Tabelle 1:  
Beispiele elektromagnetischer Strahlungen

■ Niederfrequente Wellen wie Stromnetze, aber auch Leistungselektronik aller Art (z. B. in Sparlampen), haben Wellenlängen von mehreren Kilometern; eine Resonanzerscheinung ist hier also nicht zu erwarten. Allerdings spielt auch die Leistung der abgestrahlten Welle eine Rolle. Und die ist bei niederfrequenten Wellen viel höher als bei hochfrequenten.

### 1.3 Sehen und wahrnehmen

Die Seh- und Wahrnehmungsfähigkeit des menschlichen Auges ist enorm. Mit dem Augapfel, der vielfach kleiner ist als ein gutes Fotoobjektiv, kann das Auge zusammen mit einem wenige Quadratmeter kleinen Rechenzentrum im Gehirn Bilder erzeugen, die der besten Fotokamera bei weitem überlegen sind.

■ **Objekt:** Voraussetzung für einen Sehvorgang ist ein beleuchtetes Objekt. Die Bandbreite der Helligkeit, die das Auge verarbeiten kann, geht von «sehr dunkel» bis «sehr hell» und beträgt bis zu 1 zu 1 Mia.

■ **Sehen:** Das Auge sieht das Objekt und erstellt eine Abbildung auf der Netzhaut nach dem Prinzip der optischen Kamera. Durch Hornhaut, Pupille und Linse wird das Bild auf die Netzhaut projiziert. Sie enthält etwa 130 Millionen lichtempfindlicher Rezeptoren (Stäbchen für die Helligkeit und Zapfchen für die Farbigkeit) und zahlreiche

Nervenverbindungen mit vielen komplexen Schaltmechanismen. Für die richtige Schärfe des Bildes auf der Netzhaut sorgen Hornhaut und Linse, für die eine vernünftige Belichtung der Netzhaut die Pupille.

■ **Wahrnehmen:** Die körperinterne Weiterverarbeitung der Lichtreize, die auf die Netzhaut auftreten, nennt man Wahrnehmung. Die Bildinformationen werden «Real-Time» über Nervenbahnen ans Sehzentrum im Hinterkopf des Gehirns übermittelt. Dort lesen dann zwei bis drei Milliarden Zellen auf der Sehrinde die gesendeten Signale ab und verarbeiten sie in dem wenige Quadratmeter kleinen Rechenzentrum zu einem Bild.

■ **Assoziation:** Jede visuelle Information löst im Sehzentrum des Gehirn Assoziationen aus: Das empfangene Bild wird mit gespeicherten Bildern aus der Erinnerung ergänzt und zum fertigen Bild zusammengesetzt. Es besteht also zwischen Wissen (erinnertes Bild) und Sehen eine Vermischung. Deshalb wird ein Sehobjekt auch dann erkannt, wenn es nur teilweise sichtbar ist. Das Auge bildet zwar die Wirklichkeit objektiv ab, doch was wir sehen, ist eine vom Gehirn manipulierte Version des Bildes. Im Unterschied zur Kamera ist das Hirn kein passiver Apparat.

#### Die Hellempfindung des Auges

Die Lichtempfindlichkeit des menschlichen Auges ist der Massstab für den Helligkeits-

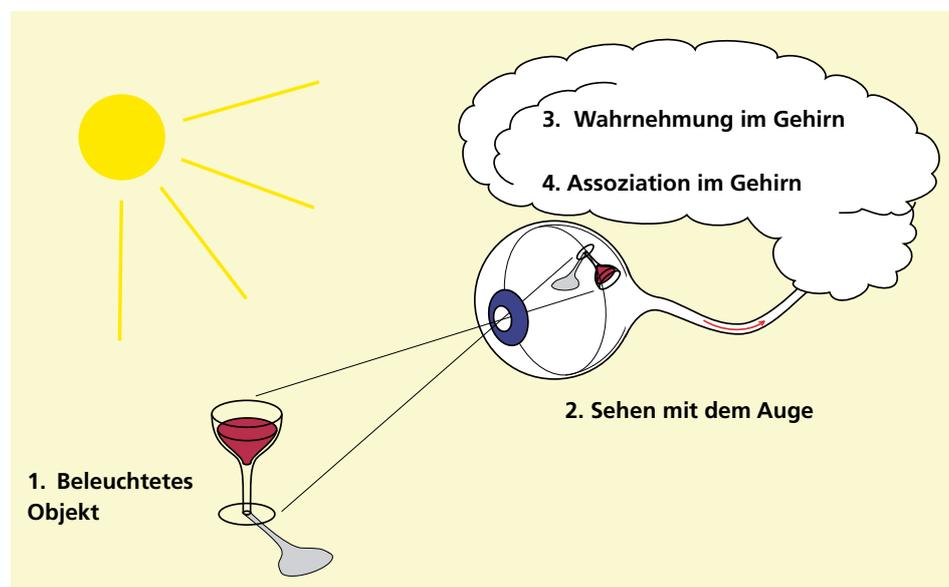


Abbildung 4:  
Sehen und verarbeiten von Bildern

eindruck der verschiedenen Wellenlängen des Farbspektrums. Die Kurve der spektralen Hellempfindlichkeit hat beim Tagsehen ein Maximum bei 555 nm (grün-gelb) und sinkt bei 400 nm respektive 700 nm nahezu auf null. Da Menschen Lichteffekte sehr unterschiedlich empfinden, gilt die Kurve nur für das normalsichtige menschliche Auge. Die spektrale Helligkeitsempfindlichkeit ist am Tag und in der Nacht unterschiedlich (Abbildung 5).

### Biologische Wirkung des Lichtes

Neben Assoziationen spielen bei der Wahrnehmung auch biologische Wirkungen des Lichtes eine wichtige Rolle. Die Wirkungskette des Lichtes folgt separaten Nervenverbindungen, welche von der Netzhaut zum zentralen Steuerorgan der Körperfunktionen (der Hypophyse) führen. Über dieses werden Stoffwechsel und Hormonhaushalt beeinflusst. Der Rhythmus wird vorwiegend durch das Tageslicht bestimmt. «Gutes» Licht fördert deshalb das Konzentrationsvermögen, verbessert die Motivation und verhindert vorzeitige Ermüdung. Dadurch steigt die Leistungsfähigkeit, sogar bei Tätigkeiten, die wenig oder gar nicht sehabhängig sind, wie z. B. Denkvorgänge. Diese Wirkung wird vor allem durch das seitlich ins Auge einfallende Licht ausgelöst. Deshalb ist es in Arbeitsräumen wichtig, nicht nur Arbeitsplätze, sondern auch deren Umfeld gut zu beleuchten. Beleuchtungsstärken unter 500 Lux genügen dazu allerdings nicht. Tageslicht lässt sich nicht vollständig durch künstliche Beleuchtung ersetzen.

### Wahrnehmungsprozesse

In der Wissenschaft werden heute visuelle und nichtvisuelle Prozesse unterschieden. Die visuellen Prozesse bilden dabei:

- Das eigentliche Sehen (über Zapfen und Stäbchen)
- Die Wahrnehmung unserer subjektiven Realität
- Teils chronobiologische Prozesse ebenfalls durch die Zapfen und Stäbchen

Die nicht visuellen Prozesse zeigen, dass Licht mehr bewirkt, als uns bewusst ist:

- Hormonelle Beeinflussung über die Hautoberfläche

- Licht als chronobiologischer Schrittmacher

- Beeinflussung einer grossen Anzahl weiterführenden Prozesse im Körper durch die direkte Wirkung der Sehzellen und Ganglien, ohne visuelle Prozesse auszulösen.

### Visuelle Prozesse

Bei Dunkelheit werden ausschliesslich Stäbchen gereizt. Sie sind ca. 100 000-mal empfindlicher als Zapfen. Auf diese Weise wird ein ausreichendes Sehen selbst in der Nacht ermöglicht. Da es nur eine Stäbchenart gibt, können lediglich Helligkeitswerte unterschieden werden. Neben den ca. 120 Millionen Stäbchen sind im Auge ca. 6 Millionen Zapfen angesiedelt. Die stärkste Konzentration findet man in der Fovea Centralis (Netzhaut, höchste Sehschärfe).

Die Zapfen haben verschiedene spektrale Empfindlichkeiten. Ca. 12 % der Zapfen sind vorwiegend auf Blau empfindlich, die verbleibenden restlichen 88 % sind auf Rot und Grün empfindlich.

Neben dem reinen Zapfensehen (Farbsehen, photopisches Sehen) und dem reinen Nachtsehen mit Stäbchen (Grauwerte, skotopisches Sehen) spricht man auch vom mesopischen Sehen, also einem Zwischenbereich, indem Farbsehen und Nachtsehen möglich ist.

Die Wahrnehmungstheorien basieren auf visuellen Sehprozessen. Dabei werden Lernprozess (Reiz-Antwort-System) und Programm (mentales Konzept; Look-up-Wahrnehmung nach Gregory) unterschieden. Lernprozesse können mit dem Erreichen einer Stufe des Erfolges durch Training relativ klar über das Reiz-Antwort-System und dem dadurch erreichten Konzept, der Look-up-Wahrnehmung, beschrieben werden. Das Reiz-Antwort-System bildet also den Weg und die Look-up-Wahrnehmung das Ziel.

Die Verkehrsampel zeigt beispielsweise als Reiz den Wechsel von Rot zu Grün. Als Antwort wechselt der Autofahrer seinen Fuss vom Brems- zum Gaspedal. Typisch für solche Systeme sind die damit verbun-

denen Reaktionszeiten. Auch wenn die Reaktionszeiten über das periphere Sehen zusätzlich verkürzt werden können, bleiben sie bestehen.

Durch Information der Augen wird das passendste oder das wahrscheinlichste Konzept ausgewählt und zur Wahrnehmung genutzt. Wie Abbildung 6 zeigt, können gleichmäßige Änderungen in der Sinnesinformation zu einer sprunghaften Änderung des ausgewählten mentalen Konzepts führen. Beispiel eines Übergangs von einem mentalen Konzept zu einem anderen: Bei einer Blickbewegung von links nach rechts wechselt das mentale Konzept «Mann» in ein Konzept «Frau». Von rechts nach links findet der Übergang an einer anderen Stelle statt.

Was ist der Vorteil des Konzeptes gegenüber dem Lernprozess? Grundsätzlich ist

beides notwendig, um das Erlernte auch zu behalten und in einer Disziplin besser zu werden. Zusätzlich sind die Konzepte auch schneller abrufbar. Die Vorteile der Look-up-Wahrnehmung gegenüber dem reinen Reiz-Antwort-Systems sind:

- Keine Zeitverzögerung: Beispiel heran nahender Ball, mentales Konzept der Flugbahn (Beleuchtung beeinflusst positiv).

- Beurteilung von Eigenschaften: Beispiel Oberfläche eines Tisches aufgrund der Erfahrung (Beleuchtung hat keinen Einfluss; Konstanzphänomen; neue unbekannte Objekte dürften schwieriger zu beurteilen sein).

- Die Look-up-Wahrnehmung kann auf Abwesenheit von Eigenschaften reagieren. (Beispiel Kanizsa Dreieck: Obwohl Linien gar nicht vorhanden sind, werden diese wahrgenommen). Beim Reiz-Antwort-Sys-

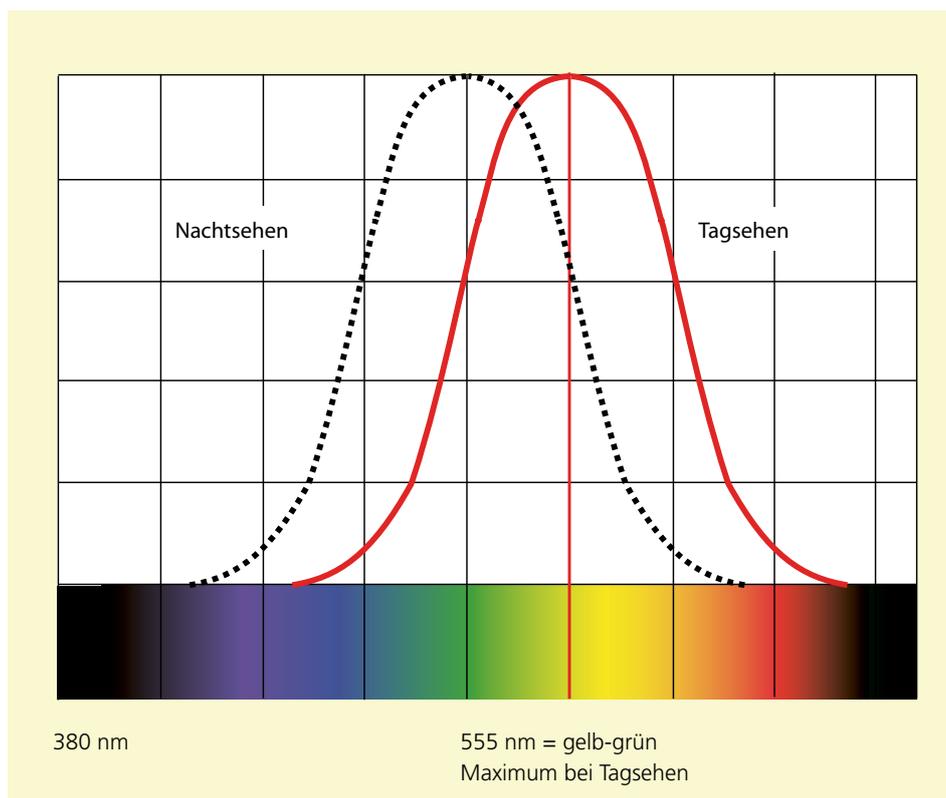


Abbildung 5: Sehvermögen des Menschen bei Tag und Nacht für die verschiedenen Lichtfarben.

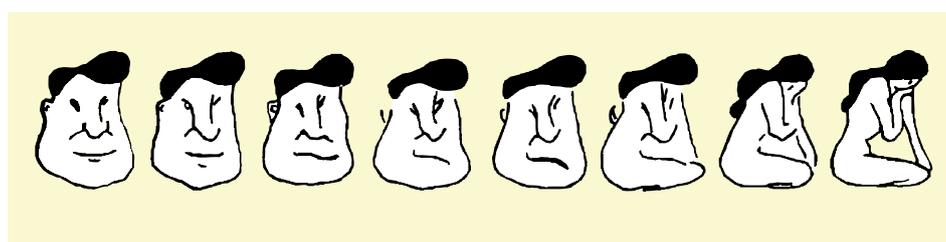


Abbildung 6: Je nach gewählter Richtung ändert sich das mentale Konzept.

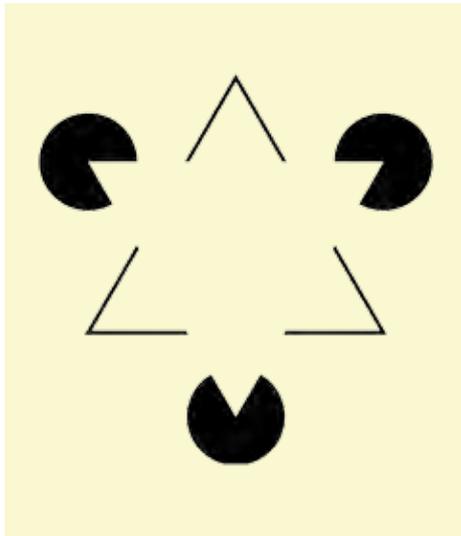


Abbildung 7:  
Kanisza Dreieck;  
trotz Abwesenheit  
von Eigenschaften  
klar erkennbar

tem wäre das unmöglich, da ohne Reiz keine Reaktion möglich ist (Beispiel hohe Leuchtdichten ohne Information).

■ Die Look-up-Wahrnehmung kann kurzzeitige Informationslücken ausfüllen. Dies erfolgt z.B. beim Lidschlag. Obwohl das Bild auf der Netzhaut des Auges verschwindet, wird die Umwelt zeitlich als kontinuierlich wahrgenommen (Beispiel Haus hinter Baum).

Determinierte Strukturen sprechen in Personen mit ähnlichem kulturellem Hintergrund ähnliche mentale Konzepte an – mit anderen Worten: sie wirken kommunikativ. Die Konstanz von Winkeln, Farben, Grös-

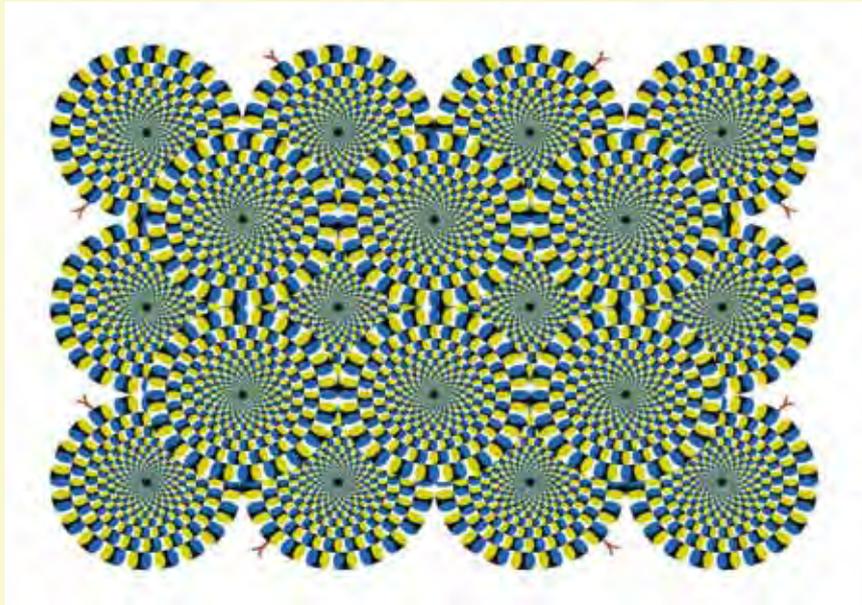


Abbildung 8:  
Bewegung als Eigenleistung des Gehirns, ausgelöst durch die laterale Hemmung (Randkontrastverstärkung).

Abbildung 9:  
Beim Versuch, die Farben der Wörter zu lesen, versucht die rechte Hirnhälfte wie gewohnt, die Wörter so zu interpretieren, wie sie dastehen. Sie hat Mühe, sich unterzuordnen. Die linke Hirnhälfte hat ebenso Mühe, die Führung zu übernehmen.

**GELB BLAU ORANGE**  
**SCHWARZ ROT GRÜN**  
**VIOLETT GELB ROT**  
**ORANGE GRÜN SCHWARZ**  
**BLAU ROT VIOLETT**  
**GRÜN BLAU ORANGE**

sen und Helligkeiten bildet dabei im Wahrnehmungsprozess ein wichtiges Bindeglied zu den erlernten und gespeicherten Korrekturprozessen. Es ist zudem eine charakteristische Eigenschaft der Wahrnehmung, einfache und verständliche Deutungen zu bevorzugen (Symmetrie, Gestaltgesetze etc.).

Äussere Reize werden nicht nur rational wahrgenommen, sondern haben auch eine emotionale Ebene. Diese persönliche und überlagerte Empfindung der Umwelt und ihrer Objekte können als angenehm oder unangenehm, als beruhigend oder anregend, als kontrolliert oder ausgeliefert, etc., gedeutet werden. Diese Bewertung wird affektive Färbung genannt. Dabei beeinflussen sich Mustererkennung und affektive Bewertung gegenseitig. Wir sind beispielsweise geneigt, affektiv uninteressante Reize zu unterdrücken. Zusätzlich zeigt sich, dass eine affektive Färbung Zeitströmungen unterliegt und damit dem Wandel der Zeit folgt (Schönheitsideal, Atomstrom, Autodesign, Materialisierung etc.).

Diese äusseren Reizimpulse können zusätzlich durch eine eigene Bewertung beeinflusst werden. Wir haben, ausgelöst durch Medien, Gespräche, Gehörtes oder Gesehenes, eine Vorstellung darüber, ob sich eine bestimmte Wahrnehmung positiv oder negativ auf unsere Gesundheit auswirkt. Beispiele dafür gibt es viele, wenn auch oft falsch interpretiert oder dem Aberglauben nahe. Zum Beispiel die öffentliche Diskussion über das unnatürliche und daher ungesunde Lichtspektrum von Leuchtstofflampen. Bei der Behauptung, «Neonröhrenlicht macht krank», wird das mentale Konzept über Leuchtstofflampen mit einem Konzept über die Gesundheit verknüpft.

Diese Bewertung bestimmt das weitere Verhalten gegenüber dem Wahrgenommenen. Sie beeinflusst sowohl affektive Färbung wie auch den Prozess der Mustererkennung. Das heisst auch, dass sie mitbestimmt, welches mentale Konzept von der Look-up-Wahrnehmung ausgewählt wird.

### Nichtvisuelle Effekte

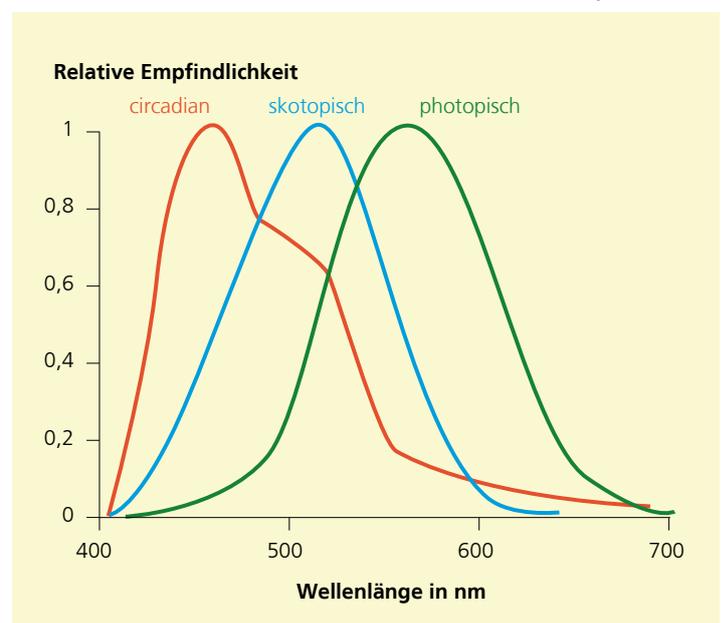
Biologische Prozesse, ausgelöst durch nichtvisuelle Effekte, sind unsichtbar und daher auch lange unentdeckt geblieben. Sie zeichnen sich durch Körperrhythmen (24 Stunden, Tag-Nacht, etc.), durch Aufmerksamkeit, Stimmung, Stress und weitere beschreibbare psychologische Merkmale aus. Man kann daraus schliessen, dass es sich um die gesundheitsbezogenen Qualitätsaspekte von Beleuchtungsanlagen handelt. Erst 2002 wurde durch David Berson und anderen ein neuartiger Photorezeptor beschrieben, entdeckt in der Netzhaut von Säugetieren. Damit war der Mechanismus hinter den von Licht und Dunkel gesteuerten biologischen Effekten als neuartiger Photorezeptor erkannt. Das bedeutet nun, dass die Qualitätskriterien der Beleuchtung um den Faktor Gesundheit erweitert werden muss.

Folgende Oberbegriffe der Qualitätskriterien können neu genannt werden:

- Sehaufgabe
- Gesundheit
- Räumliche Verteilung

Die Beleuchtung einer Sehaufgabe unterliegt anderen Kriterien als jene für die circadiane Rhythmik. Ebenso hat die ästhetische Raumbeleuchtung noch nicht den Beweis erbracht, weitere Qualitätskriterien zu erfüllen. Das Zusammenspiel dieser

**Abbildung 10:** Empfindlichkeitskurven der Empfänger im Auge. Photopisches Maximum (Tagessehen) bei 555 nm; Skotopisches Maximum (Nachtsehen) bei 507 nm; Circadianes Maximum (nicht visuell) bei ca. 480 nm (neueste wissenschaftliche Erkenntnisse; bislang wurden 460 nm angenommen)



Oberbegriffe ist keineswegs einfach und zusätzliche Kriterien wie Energieeffizienz und normative Absichten verkomplizieren ein vermeintlich einfaches Beleuchtungsvorhaben. Damit sind die Grenzen nicht gesetzt, eher weit geöffnet. Die verschiedenen Messmethoden (sei es Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke) beherrschen wir. Wie sieht es mit der Bewertung aus? Mit dem Gütekriterium der Beleuchtung müsste Licht präziser beurteilt werden können.

Die Stäbchen sind für die Pupillenöffnung massgeblich verantwortlich. Das bedeutet wiederum, dass Licht mit hohem Blauanteil die Pupille öffnet und damit mehr Tiefenschärfe zulässt. Gelbes Natriumdampf-Halogenlicht im Gegensatz dazu hat zwar eine enorm hohe Lichtausbeute, vermag aber die Stäbchen nicht zu aktivieren. Das führt dazu, dass die Bewertung auf der Netzhaut trotz hoher Lichtausbeute nicht besser ausfällt und somit nicht heller erscheint. Auf die Empfindlichkeit der Stäbchen reduziert, wirkt die Frequenz der Natriumdampf-Lampe wie biologische Nacht.

Auf der anderen Seite wurde mehrfach auf die toxische Wirkung der Blauentladung von LED-Lampen auf das Auge hingewiesen. Wieviel Licht und mit welcher Frequenz ist gesund? Diese Antworten stehen noch aus. Erkenntnisse sind:

- Licht kann Winterdepression mildern.
- Licht kann die Dauer und Tiefe sowie die Qualität von Schlaf erhöhen.
- Licht kann den Schlaf-Wach-Rhythmus regulieren.
- Licht kann die Leistungsfähigkeit erhöhen.
- Licht kann die Gewichtszunahme von Frühgeborenen verbessern.
- Licht kann die Gewichtskonstanz und Gewichtsabnahme von Erwachsenen positiv beeinflussen.
- Die Aktivierung des circadianen Systems durch Licht wird durch die retinalen Ganglionzellen in der Netzhaut des Auges beeinflusst.
- Licht reguliert den Melatoninpegel, von dem nachgewiesen wurde, dass er das Wachstum von Brustkrebs verringert.

■ Licht hat einen direkten Einfluss auf die Hirnrindenaktivität.

Der Architekt und Künstler Philip Rahm hat sich einer nachhaltigen und ganzheitlich verstandenen Kunstarchitektur verschrieben. Architekturkunst, die sich an naturwissenschaftlichen, biologischen, sozialen und gesellschaftlichen Faktoren orientiert, um auf den wissenschaftlichen Erklärungsnotstand hinzuweisen, ohne rechthaberisch zu wirken, dafür Vermutungen darzustellen. Die Farben in den Räumen symbolisieren biologische Wirkungsprinzipien, die sich in Schlaf, Müdigkeit und Munterkeit bemerkbar machen – Architektur als Sprache. Dabei entstehen Räume wie das Hormonium oder der Melatoninraum (Abbildung 12 und Abbildung 13).



Abbildung 11:  
Split Time Cafe von  
Philip Rahm 2007



Abbildung 12:  
Melatoninraum von  
Décosterd & Rahm,  
2000



Abbildung 13:  
Melatoninraum von  
Décosterd & Rahm,  
2000

### 1.4 Lichttechnische Begriffe

Die grundlegenden Begriffe der Beleuchtung (Abbildung 14) betreffen das Licht (Lichtstrom und Lichtstärke), die Beleuchtung (Beleuchtungsstärke in Lux) und das Sehen (Leuchtdichte).

■ Eine Lichtquelle gibt Licht ab; die gesamte Menge bezeichnet man als Lichtstrom mit der Einheit Lumen (lm). Die Intensität in eine bestimmte Richtung bezeichnet man als Lichtstärke mit der Einheit Candela (cd).

■ Eine Oberfläche wird beleuchtet; die Beleuchtungsstärke auf dieser Oberfläche wird in Lux gemessen und angegeben (lx).

■ Das Auge nimmt das – meist von einem beleuchteten Gegenstand reflektierte Licht – auf. Man misst und bewertet die spezifische Intensität des auf dem Auge eintreffenden Lichtes – die Leuchtdichte – mit der Einheit Candela pro Quadratmeter ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

### Lichtstärke (Candela, cd)

Die Lichtstärke gibt die Intensität des Lichtes in eine bestimmte Richtung an. 1 Candela entspricht etwa der Intensität einer Kerze (Candela steht für Kerze). Die räumliche Verteilung der Lichtstärken einer Lichtquelle wird mit Lichtverteilkurven (LVK) beschrieben. Die Kurven geben in jede «Himmelsrichtung» (sogenannte C-Ebenen) und für jeden Abstrahlwinkel (Winkelbezeichnung:  $\gamma = \text{Gamma}$ ) die Lichtstärke einer Lichtquelle an. Lichtverteilkurven können je nach Quelle mehr oder weniger symmetrisch sein. Zur Verwendung in Computersimulationen speichert man diese Lichtstärken in einer Eulum-Datei (Suffix: \*.ldt). Eine Messdatei enthält bis zu 1752 Messwerte, zum Teil noch mehr (Abbildung 15).

Wenn man die Intensitäten der Lichtstrahlen einer Lichtquelle in alle Richtungen zusammenzählt (mathematisch: über den

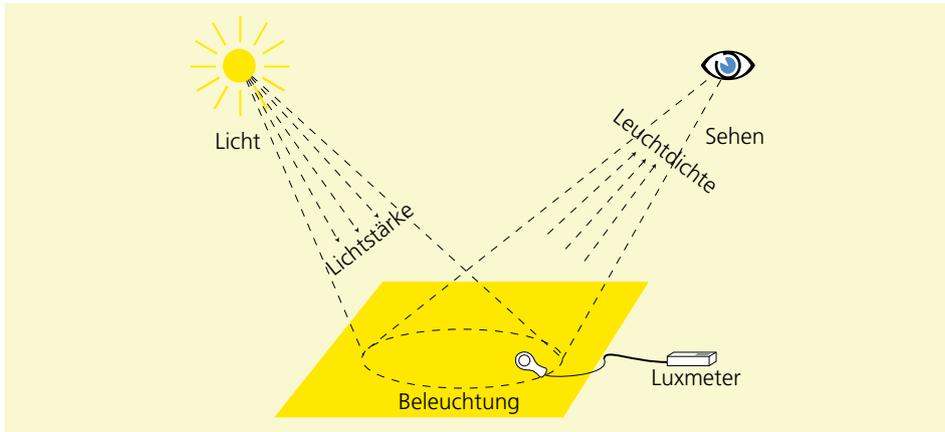


Abbildung 14:  
Licht, Beleuchtung  
und Sehen

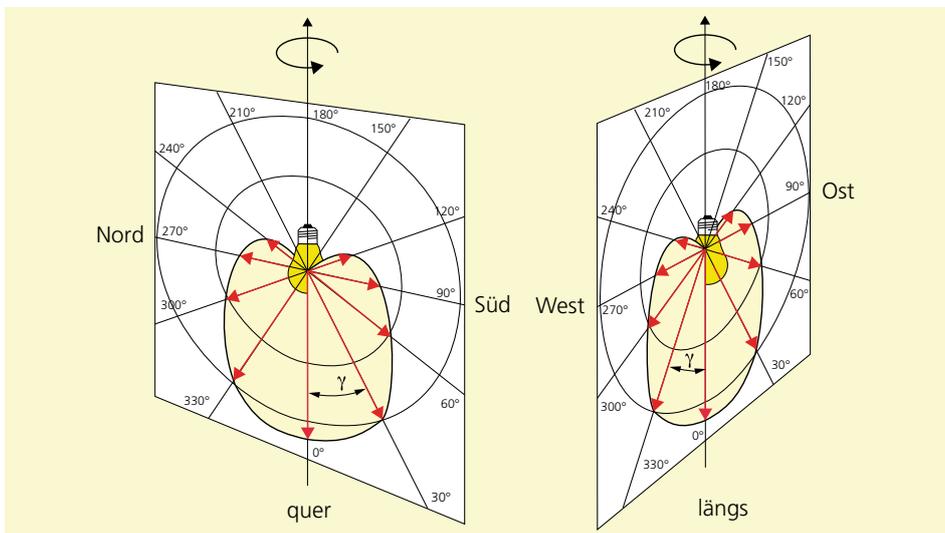


Abbildung 15:  
Lichtverteilkurve ei-  
ner Glühlampe in  
Längs- und in Quer-  
richtung

gesamten Raum integriert), dann ergibt sich der Lichtstrom. In der Deklaration von Spotlampen ist in der Regel ein Candela-wert (anstelle des Lichtstroms in Lumen, wie bei rundumstrahlenden Lampen) dokumentiert. Dieser Wert entspricht der maximalen Lichtstärke in der Hauptausstrahlrichtung des Spots; der Wert sagt aber nichts über die Lichtmenge und die Energieeffizienz des Leuchtmittels aus. Je nach Abstrahlwinkel der Spotlampe können bei derselben Lichtstärke (Candela-zahl) ganz verschieden grosse Lichtkegel und somit unterschiedliche Lichtmengen resultieren (Abbildung 16). Als Abstrahlwinkel einer Spotlampe ist derjenige Winkel definiert, bei welchem die Lichtquelle die Hälfte der maximalen Lichtstärke angibt. Auch unter Angabe des Abstrahlwinkels (z. B. 35°) kann keine genaue Angabe über Lichtmenge und Energieeffizienz des Leuchtmittels gemacht werden. Es ist des-

halb für eine Bewertung unerlässlich, dass auch bei Spotlampen der gesamte Lichtstrom in Lumen angegeben wird.

Aus Abbildung 16 geht hervor, dass das Licht innerhalb des Abstrahlwinkels in den meisten Fällen nicht gleich stark ist. Wesentlich ist auch, dass Spotlampen mit dem gleichen Abstrahlwinkel total unterschiedliche Lichtverteilungskurven und somit auch Lichtmengen generieren können. Die Angabe von Candelazahl und Abstrahlwinkel (wie es bei Spotlampen üblich ist) sagt somit nichts über die Effizienz der Lampe, aber auch wenig über die Ausleuchtung eines Gegenstandes aus.

### Lichtstrom (Lumen, lm)

Der Lichtstrom bezeichnet die gesamte Lichtmenge, die von einer Lichtquelle in alle Richtungen abgegeben wird. In der Energietechnik gibt man die Leistung eines Elektroapparates in Watt an. Da das

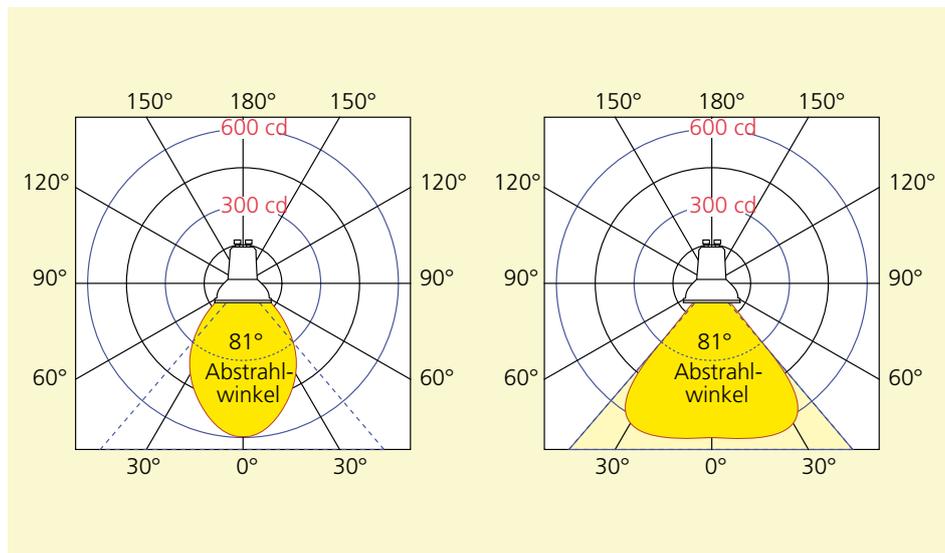


Abbildung 16: Gleicher Abstrahlwinkel – unterschiedliche Lichtmenge

Lichtquelle	Lichtstärke (cd)
Glühwürmchen	0,01
Kerze (Candela)	1
Glühlampe 100 W	100
Halogenlampe 35 W, 60°	700
Halogenlampe 35 W, 35°	1500
Halogenlampe 35 W, 24°	3000
Halogenlampe 35 W, 10°	10 000
Leuchtturm	10 000 000
Sonne	$2 \cdot 10^{27}$

Tabelle 2: Lichtstärken verschiedener Lichtquellen in Hauptausstrahlrichtung

menschliche Auge nicht alle Farben gleich gut sehen kann, verwendet man für die Lichtleistung einer Lichtquelle eine über die spektrale Empfindlichkeit des Auges bewertete Grösse, die Lumenzahl: Grüne und gelbe Farben werden höher gewichtet als Rot und Blau. Man nennt diese Bewertungskurve des menschlichen Auges auch V-Lambda-Kurve (Abbildung 17). Die Lumenzahl ist die massgebende Kenngrösse eines Leuchtmittels; der Wert muss auf jeder Lampenverpackung angegeben sein; z. B. 42-Watt-Halogenglühlampe: 630 Lumen. Die Energieeffizienz oder die Lichtausbeute eines Leuchtmittels wird

also nicht in Prozent angegeben, sondern in Lumen pro Watt (lm/W). Lampen mit einem grossen Grün- oder Gelbanteil haben eine bessere Energieeffizienz, weil diese Farben das menschliche Auge besser sehen kann. Typisch dafür sind gelbe Natriumlampen in der Strassenbeleuchtung. Noch effizienter könnte man eine Strassenbeleuchtung machen, wenn man sie mit grünem LED-Licht realisieren würde.

### Beleuchtungsstärke (Lux)

Die Beleuchtungsstärke dient als Mass für die Bewertung der Helligkeit einer Fläche. Wenn auf einem Tisch eine Beleuchtungs-

**Empfindlichkeit**

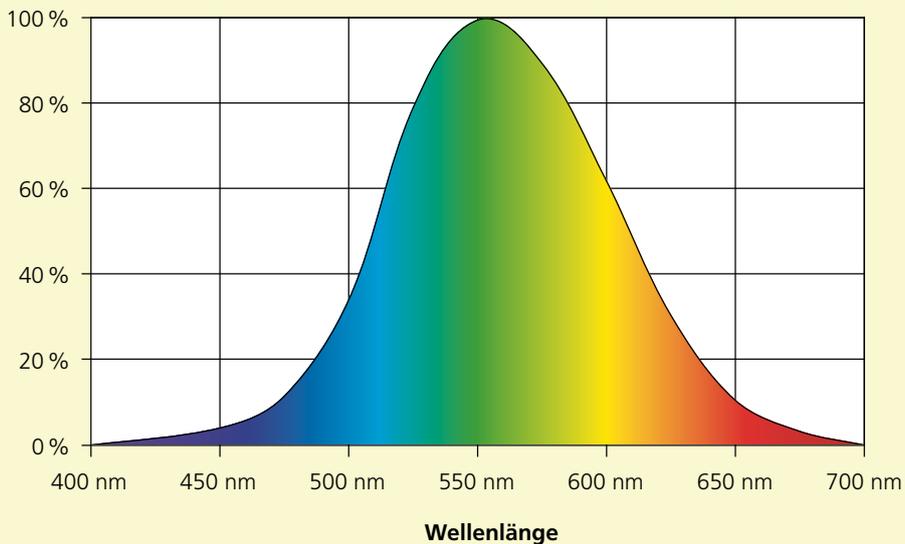


Abbildung 17:  
Empfindlichkeit des menschlichen Auges in Abhängigkeit des Farbspektrums (V-Lambda-Kurve)

Lichtquelle	Elektrische Leistung (W)	Lichtstrom (lm)	Lichtausbeute (lm/W)
Haushaltkerze	–	12,5	–
Glühlampe für Taschenlampe	2	12,5	6
Glühlampe 230 Volt	60	710	12
Eco Halogenglühlampe	42	630	15
Eco Halogenlampe 12 V	35	860	25
Sparlampe	11	640	58
LED-Lampe E27	12	806	67
Leuchtstoffröhre	35	3650	104
Natrium Niederdrucklampe («gelb-orange» Strassenlampe)	180	32000	178
Sonne	–	$2,5 \cdot 10^{28}$	–

Tabelle 3:  
Beispiele von Lampen und deren Lichtstrom und Lichtausbeute

stärke von 500 Lux gemessen wird, kann man einen Text mit normaler Schriftgrösse ohne Ermüdung lesen. Je nach Sehaufgabe ist eine andere Beleuchtungsstärke notwendig: in einem Korridor reichen 100 Lux, auf einem Operationstisch sind mehrere 1000 Lux sinnvoll. Das menschliche Auge kann bei Beleuchtungsstärken zwischen weniger als 1 Lux (Vollmond) bis zu 100 000 Lux (volle Sonne am Mittag) sehen (Abbildung 18, Tabelle 4). Mit der Pupille und einer gewissen Adaptionszeit stellt sich der Mensch auf die grossen Helligkeitsunterschiede ein. Jeder Fotoapparat ist mit diesem grossen Helligkeitsspektrum völlig überfordert. Die Beleuchtungsstärke kann mit einem Luxmeter – im Vergleich zu den anderen Lichtgrössen – relativ einfach gemessen werden.

#### Leuchtdichte (cd/m<sup>2</sup>)

Das vom Auge aufgenommene Licht wird mit der Leuchtdichte beschrieben; dabei spielt die Grösse des leuchtenden Körpers

(Sonne, Lampe, Bildschirm oder reflektiertes Licht eines selber nicht leuchtenden Gegenstandes) die wesentliche Rolle.

■ Ein leuchtender Körper erzeugt im Auge eine sehr hohe Leuchtdichte, wenn Lichtstärke und leuchtende Fläche gross sind.

■ Eine hohe Leuchtdichte kann aber auch bei grosser Lichtstärke und relativ kleiner leuchtenden Fläche erzeugt werden, z.B. Licht einer klaren Glühlampe.

■ Wird die leuchtende Fläche durch einen Diffusor vergrössert, sinkt die Leuchtdichte deutlich, z.B. Licht einer matten Glühlampe.

Die Leuchtdichte wird für die Beurteilung der Helligkeit von leuchtenden Flächen verwendet. Dazu wird die Lichtstärke einer Lichtquelle in die Richtung des Betrachters durch die Grösse der leuchtenden Fläche geteilt. Beispiel: Eine Deckenleuchte hat eine Schirmgrösse von 0,1 m<sup>2</sup> aus der Sicht des Betrachters. Dieser sieht ja nur eine Seite der Leuchte von einem bestimmten

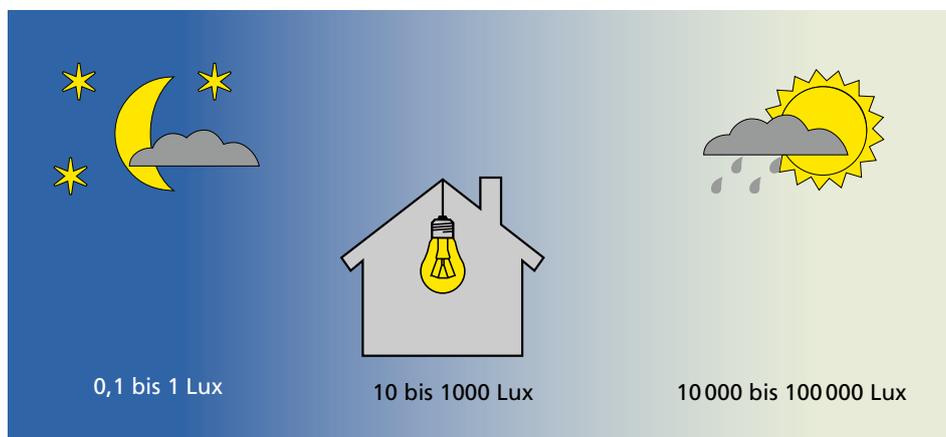


Abbildung 18:  
Beleuchtungsstärken von typischen Lichtquellen

Bewertungsebene (Boden, Tisch)	Beleuchtungsstärke (Lux)
Wolkenloser Sommertag	100 000
Trüber Sommertag	20 000
Exponat in Bijouterie	10 000
Operationstisch	5 000
Auslagen im Supermarkt	2 000
Bürobeleuchtung	500
Wohnzimmer	100
Strassenbeleuchtung	20
Vollmond in Winternacht	1
Sternennacht ohne Mondschein	0,01

Tabelle 4:  
Beispiele von Beleuchtungsstärken

Standort aus. Wenn die Lichtstärke der Deckenleuchte in diese Richtung nun 100 cd beträgt, dann ergibt sich für den Betrachter auf dem Leuchtschirm eine Leuchtdichte von 1000 cd/m<sup>2</sup>. Die Leuchtdichte ist somit auch ein Mass für die Blendung einer Lichtquelle. Je nach Sehaufgabe sollten bestimmte Leuchtdichten nicht überschritten werden. Bei Bildschirmarbeitsplätzen sollte die Blendung der Arbeitsplatzleuchte nicht höher als 1000 cd/m<sup>2</sup> sein, damit die Person am Computer noch ungestört arbeiten kann.

**Zusammenhang zwischen Lux, Lumen und Candela**

Unter der speziellen Voraussetzung, dass eine Lichtquelle genau 1 Meter von der Bewertungsebene von 1 m<sup>2</sup> entfernt ist und die gesamte Lichtmenge der Lichtquelle genau auf diese Bewertungsebene abgegeben wird, gilt:

1 Lumen = 1 Lux = 1 Candela (Abbildung 19)

Mit einem Luxmeter lässt sich demnach die Lichtstärke in eine bestimmte Richtung messen, wenn das Messgerät genau 1 Meter von der Lichtquelle entfernt ist und senkrecht auf diese gerichtet ist. Die Lichtstärke nimmt in Relation zur Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat des Abstandes ab: Bei 2 m beträgt die Lichtstärke also 25 %, bei 0,5 m 400 % des Wertes von 1 m Abstand.

Unter der Voraussetzung, dass die Lichtstärke einer Lichtquelle in alle Abstrahlrichtungen gleich gross ist bzw. die Lichtquelle das Licht in alle Richtungen gleichmässig abgibt, gilt:

1 Candela → 12,57 Lumen = Oberfläche der Einheitskugel (Radius 1 m) = 4 · Pi (Abbildung 20)

Tabelle 5:  
Lichtquellen und deren Leuchtdichten

Lichtkörper	Leuchtdichte (cd/m <sup>2</sup> )
Sonne am Mittag	1 600 000 000
100-W-Glühlampe klar	10 000 000
Sonne am Horizont	5 000 000
100-W-Glühlampe matt	200 000
Blauer Himmel	10 000
Kerzenflamme	5 000
Mond	2 500
Flachbildschirm	1 000
Nachthimmel	0,001

Abbildung 19:  
Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke (Lux), Lichtstrom (Lumen) und Lichtstärke (Candela) bei gerichtetem Licht

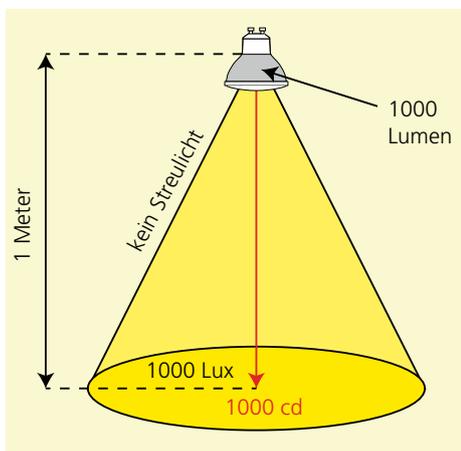
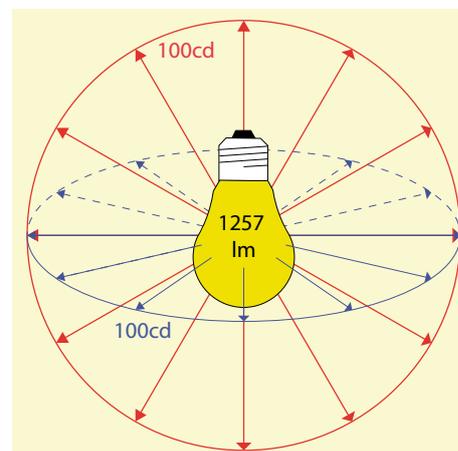


Abbildung 20:  
Zusammenhang zwischen, Lumen und Candela bei rundum gleich strahlendem Licht



## 1.5 Lichtmarkt

### Gesamtenergiebilanz

In der Schweiz wurden im Jahr 2010 total 253 Terawattstunden Energie konsumiert und dafür 23,3 Milliarden Franken bezahlt. Der Energieverbrauch lässt sich den Energieträgern Treibstoffe (Benzin und Diesel), Wärme (Öl, Gas, Holz, Fernwärme, Solar) und Elektrizität zuordnen. Weil die elektrische Energie die teuerste Energieform ist, unterscheiden sich die Anteile für Verbrauch und Kosten deutlich; Bezüglich der Kosten macht die Elektrizität mit knapp 40 % den grössten Anteil am Energiekuchen aus. Die hohen Millionenbeträge bei den Energiekosten müssen relativiert werden: Pro Person und Jahr werden in der Schweiz nur gerade 2800 Franken für Energie (Wärme, Treibstoffe, Strom) ausgegeben. Energie macht 5 % bis 6 % des Bruttoinlandproduktes aus.

### Energiebilanz Beleuchtung

Der Energieverbrauch für Beleuchtung wird hauptsächlich durch die Leuchtmittel bestimmt. Andere Komponenten wie Betriebsgeräte, Regelungen und Leuchten sind für den Energieverbrauch von untergeordneter Bedeutung. Knapp 80 % aller in der Schweiz verkauften Leuchtmittel stammen von den beiden Firmen Osram und Philips. Weltweit verkaufen die drei grossen Hersteller Osram, Philips und General Electric (GE) drei Viertel aller Lampen. Leistungen und Lebensdauern aller Leuchtmittel müssen nach klar definierten Normen gemessen und deklariert werden.

Man findet die Angaben auf allen Verpackungen, in Katalogen und im Internet; die Deklaration ist gesetzlich vorgeschrieben. Deshalb lässt sich auf der Basis der Verkaufszahlen der Typologie und der Leistung verschiedener Lampen von Osram und Philips eine relativ genaue Energiebilanz für die Beleuchtung erstellen. Die Verkaufsstatistik der Hersteller wird allerdings nicht öffentlich publiziert, die Zahlen können also nur aufgrund von Schätzungen ermittelt werden. Weil Entladungslampen – Sparlampen zählen auch zu den Entladungslampen – eine deutlich längere Lebensdauer aufweisen als Glüh- und Halogenlampen, ergibt sich ein markanter Unterschied in den Anteilen des Verkaufs und des Verbrauchs. Mehr als drei Viertel des Gesamtverbrauchs entfällt auf Entladungslampen. Dies macht deutlich, dass die Wahl des Leuchtmittels – über das gesamte Anwendungsspektrum betrachtet – nur geringes Potenzial zur Energieeinsparung bietet. Dagegen können durch Effizienzsteigerungen bei den Leuchtenreflektoren, den Betriebsgeräten, der energieoptimierten Planung und natürlich im Betrieb der Beleuchtungsanlagen grössere Einsparungen realisiert werden.

### Verbraucher kategorien

Der Lichtmarkt lässt sich in drei Sektoren unterteilen; diese unterscheiden sich stark bezüglich Produktpalette, Hersteller und Vertriebskanäle.

■ **Zweckbauten:** Der professionelle Markt ist hauptsächlich von Entladungslampen

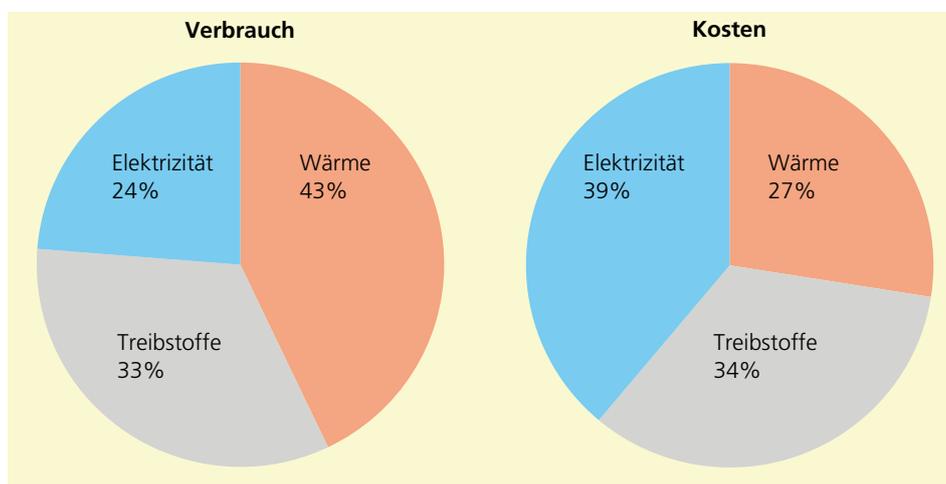


Abbildung 21: Anteile der Energieträger am gesamten Energieverbrauch von 253 000 GWh (links) und an den gesamten Energiekosten von 23,3 Mia. Fr. (rechts) für das Jahr 2010. Bei den Treibstoffen sind die Steuern nicht enthalten.

(vor allem Leuchtstofflampen) bestimmt. Es gibt zahlreiche Bauformen, Grössen und Sockeltypen. Alle Entladungslampen benötigen ein Vorschaltgerät; in der Regel ist ein Vorschaltgerät nur für einen oder wenige Lampentypen geeignet. Die Leuchten werden durch Planer und Installateure an die Endkunden geliefert, wobei die Leuchtmittel meist als Erstbestückung mitgeliefert werden. Rund zehn grössere Leuchtenhersteller sind in der Schweiz im Fachverband der Beleuchtungsindustrie (FVB) organisiert und decken etwa 80 % des Leuchtenmarktes ab. Die meisten Leuchten für Zweckbauten werden in Europa gefertigt.

■ **Haushalt:** Der Consumer-Markt ist vor allem von Glüh-, Halogen- und Sparlampen mit den bekannten Schraub- und Stecksockeln dominiert. Die Leuchtmittel werden hauptsächlich über die Supermärkte und teilweise über Fachgeschäfte

vertrieben. Neben den bekannten Herstellern Osram (beliefert die Migros) und Philips (beliefert Coop) spielen zahlreiche andere Firmen eine kleinere Rolle; erwähnenswert ist IKEA, die mit chinesischen Produkten einen Grossteil des Sparlampenmarktes in der Schweiz bewirtschaftet. Im Unterschied zum professionellen Markt stammen die Leuchten zum grössten Teil aus Fernost; nur wenige design-orientierte Firmen aus Europa haben noch eine gewisse Bedeutung.

■ **Strassenbeleuchtung:** Die energetische Bedeutung der öffentlichen Beleuchtung ist kleiner, als man dies subjektiv einschätzen würde; der Energieverbrauch der Strassenlampen wird im Gegensatz zu allen anderen Verbrauchskategorien separat gemessen und in der Elektrizitätsstatistik des Bundesamts für Energie, BFE, ausgewiesen.

Abbildung 22: Anzahl (links) und Energieverbrauch (rechts) der in der Schweiz im Jahr 2010 verkauften Lampen, geordnet nach Typen. Insgesamt wurden 38 Mio. Lampen verkauft, die einen jährlichen Energieverbrauch von 8100 GWh zur Folge haben.

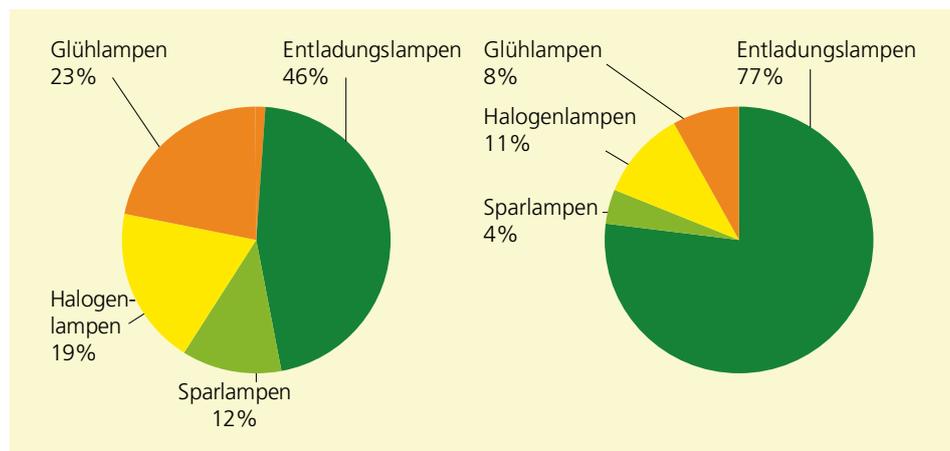
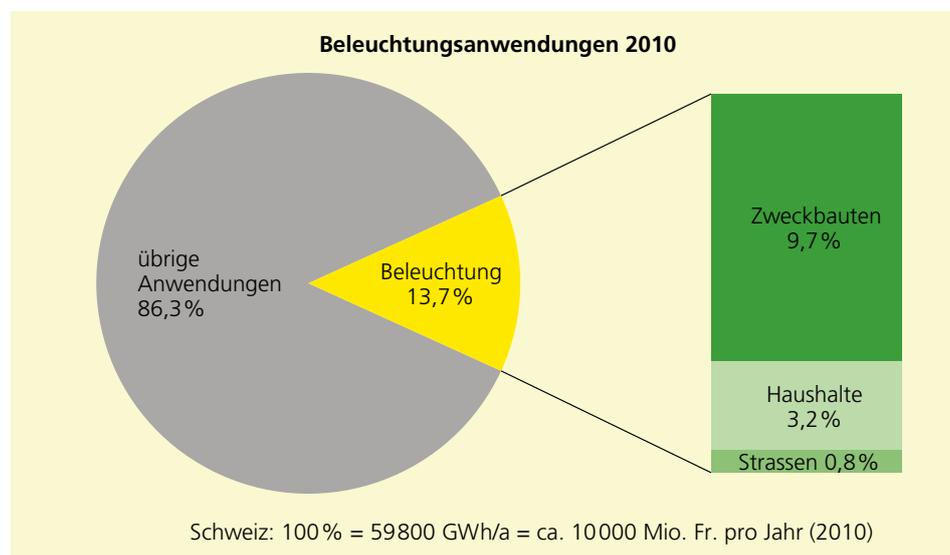


Abbildung 23: Anteile der Verbraucherkategorien am gesamten Verbrauch für Beleuchtung respektive am gesamten Stromverbrauch von 59800 GWh (2010). Der Verbrauch hat Kosten von 10 Mia. Fr. zur Folge.



# Energetische Bewertung

## 2.1 Energieetikette

Die Energieetikette ist eine europäische Deklaration für diverse Energieverbraucher. Sie teilt den Energieverbrauch nach 7 Effizienzklassen ein, wobei der Buchstabe «A» für die beste und «G» für die schlechteste Klasse steht (Abbildung 24). Zusätzlich müssen, je nach Verbrauchertyp, weitere technische Kennzahlen angegeben werden. Die Energieetikette muss am Verkaufspunkt gut sichtbar angebracht und in Verkaufsunterlagen ersichtlich sein.

Die Energieetikette wurde in den 90-iger Jahren für Haushaltgeräte entwickelt – für Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspüler, Kühlgeräte und Tiefkühler. Diese Geräte werden auch als «weisse Ware» bezeichnet. Später folgten Lampen, Autos, Gebäude, Kaffeemaschinen und Fernsehgeräte. Die Klasse D bezeichnet den Durchschnitt im Verbrauchspektrum zum Zeitpunkt der Einführung der Energieetikette.

Die weiße Ware wird seit gut 20 Jahren etikettiert. Zwischenzeitlich hat sich der Energieverbrauch der angebotenen Geräte stark verändert. Heute sind praktisch alle Haushaltgeräte in der A-Klasse zu finden. Mit Zusatzkategorien A+ und A++ kennzeichnet man heute die besten Geräte. Wer ungenügend informiert ist und bloss aufgrund der farbigen Etikette entscheidet, trifft allerdings eine falsche Wahl. Denn ein A-Kühlschrank ist nicht besonders energiesparend. Der schnelle Blick auf die Energieetikette täuscht – auch bei Lampen.

### Umsetzung

In der Richtlinie 98/11/EG der EU-Kommission vom 27. Januar 1998 zur Umsetzung der Richtlinie 92/75/EWG des Rates betreffend die Energieetikettierung für Haushaltslampen steht in Artikel 1, Absatz 1: Diese Richtlinie gilt für mit Netzspannung betriebene Haushaltslampen (Glühlampen und Leuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät) und Haushaltsleuchtstoff-

lampen (einschließlich ein- und zweiseitig gesockelte Lampen und Lampen ohne integriertes Vorschaltgerät), selbst wenn diese nicht zur Verwendung im Haushalt vermarktet werden. Die Energieetikette für Haushaltslampen gilt also für alle Lampentypen, auch solche, die in Dienstleistung und Industrie eingesetzt werden. In Absatz 2 der Richtlinie 92/75/EWG werden wesentliche Ausnahmen definiert.

Von der Richtlinie ausgenommen sind:

- sehr kleine Lampen (Leistung unter 4 Watt)
- lichtstarke Lampen (mehr als 6500 Lumen, z. B. 500-Watt-Halogen-Stablampen)
- alle Reflektorlampen (also alle Nieder- und Hochvolt-Halogen-Spotlampen)
- weitere, wenig relevante Produkte

Insbesondere die Ausnahme für Spotlampen hat negative Konsequenzen, denn Spotlampen werden in Haushalt und Gewerbe im grossen Stil eingesetzt. Das Fehlen der Etikette erschwert es der Käufer-schaft, eine effiziente Alternative zu den Glüh- und Halogenspotlampen zu kaufen. Das zuständige europäische Normengremium und die Industrie sind zwar schon seit Jahren damit beschäftigt, diese Lücke zu schliessen, bis 2011 konnten sie sich nicht auf eine gemeinsame Formel einigen.

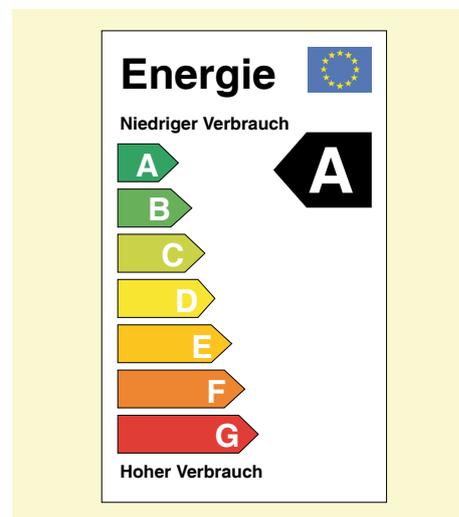


Abbildung 24:  
Die europäische  
Energieetikette für  
Energieverbraucher

### Typische Lampen und Effizienzklassen

Als Energieeffizienz einer Lampe wird das Verhältnis von abgegebener Lichtmenge der Lampe (Lumen) zur aufgenommenen elektrischen Leistung (Watt) verwendet, die Energieeffizienz von Leuchtmitteln ergibt sich in Lumen pro Watt. In Abhängigkeit der elektrischen Leistung wird einem bestimmten Lumen-pro-Watt-Wert eine Effizienzklasse zugeordnet – je niedriger die Leistung, desto schwächer die Anforderung.

Der Tabelle 6 kann entnommen werden, dass die Bandbreite von der geringsten zur höchsten Effizienz Faktor 12 beträgt. Oder anders ausgedrückt: eine 35-Watt-Leuchtstoffröhre gibt mit derselben elektrischen Leistung 12-mal mehr Licht ab als eine Sofitenlampe (Glühlampe in Röhrenform). Letztere finden übrigens ihre Verwendung in älteren WC-Einrichtungen sowie trendigen Bars und Restaurants.

Tabelle 6 zeigt weitere Merkmale der Effizienzbewertung durch die Energieetikette auf, welche die Verständlichkeit stark be-

einträchtigt: Die Klassierung verläuft nicht nach linearer Gesetzmässigkeit; die Klassen haben eine enorme Bandbreite und die Sparlampe hat – als einzige Lampe – einen Sonderstatus, ist ohne Ausnahme der Klasse A zugeordnet. Sinnvoller wäre ein Rating, wie in Tabelle 7 dargestellt. Die Effizienz von Spotlampen ist wegen der Reflektorverluste etwas tiefer – mehr als 20% sollten diese Verluste aber nicht betragen.

### 2.2 Glühlampenverbot

Am 18. März 2009 verabschiedete die zuständige Kommission des europäischen Rates die Richtlinie 2005/32/EG, welche den stufenweisen Ausstieg aus der Glühlampentechnologie festlegt. Die offizielle Bezeichnung des Glühlampenverbots lautet: Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht. Im Fachjargon wird auch die Bezeichnung EUP-Richtlinie verwendet, wobei EUP für «Energy Using Products» steht. Neben Lampen werden

Klasse	Lampenbeispiel	Leistung * (W)	Lichtstrom (lm)	Effizienz (lm/W)
A	Beste Leuchtstoff-Röhre 35 W	38	3650	96
	Beste LED-Lampe 6 W	7	650	93
	Sparlampe 11 W	11	640	58
B	Kompaktleuchtstofflampe 42 W	26	1800	69
	Eco-12-V-Halogenlampe 35 W	37	860	23
C	Eco-Halogenglühlampe 52 W	52	820	16
D	Eco-Halogenglühlampe 28 W	28	345	12
E	Normale Glühlampe 75 W	75	935	12
F	Normale Glühlampe 25 W	25	220	9
G	stabförmige Glühlampe (Linestra)	35	270	8

\*) Leistung inkl. Betriebsgerät, sofern notwendig

Tabelle 6:  
Typische Lampen  
und deren Effizienz-  
klassen

Effizienz- klasse	Lampen ohne Reflektor (lm/W)	Reflektorlampen (lm/W)	Beispiele
sehr gut	> 80	> 64	Leuchtstoffröhren, LED
gut	> 60	> 48	Kompakte Leuchtstoff- lampen, Sparlampen, LED
Durchschnitt	> 40	> 32	Sparlampen, LED
ungenügend	> 20	> 16	Halogen
schlecht	< 20	< 16	Halogen, Glühlampen

Tabelle 7:  
Transparentes  
Rating von Lampen

auch Anforderungen an diverse andere energieverbrauchende Produkte gestellt. (z.B. Steckernetzteile, Setupboxen, PC, Monitore).

### Outphasing der Glühlampen

Basis für die Anforderungen an die Energieeffizienz von Lampen bildet die Energieeffizienzkategorie. Nach einem festgelegten Fahrplan sollen zwischen September 2009 und 2016 alle Lampen ausserhalb der Effizienzklassen A und B vom Markt verschwinden (Tabelle 8). Das Glühlampenverbot beinhaltet einige wichtige Zusätze und Ausnahmen:

■ Mattierte Lampen mussten seit dem Start am 1. September 2009 in der Klasse A sein. Das bedeutete das sofortige Verschwinden aller Mattglaslampen mit Ausnahme der Spar- und LED-Lampen aus den Verkaufsgeschäften und Katalogen. Dazu muss man wissen, dass mattierte Glühlampen nicht weniger effizient sind als Klarglaslampen; die Argumentation der Verfasser der Richtlinie dazu: Für mattierte Lampen bieten Sparlampen einen guten Ersatz; für klare Lampen dagegen ist der Ersatz kaum möglich.

■ Reflektorlampen sind ebenfalls vom Verbot ausgenommen. Ob Niedervolthalogen, Hochvolthalogen, normale Glühlampenspots oder Kugelkopflampen – alle bleiben erlaubt. Eine Ausnahme gilt auch für die ineffizienten Linestra-Glühlampenröhren.

■ In der Schweiz gilt ebenfalls ein Glühlampenverbot seit 1. September 2010. Zusätzlich sind hierzulande die kleinen 15-Watt- und 25-Watt-Glühlampen bereits seit Januar 2009 verboten.

### Deklarationspflicht

Die EUP-Richtlinie für Lampen enthält neben dem Verbot der normalen Glühlampen eine zusätzliche Deklarationspflicht von wichtigen technischen Kennwerten. Auf allen Lampenverpackungen müssen künftig folgende Angaben vermerkt sein: Leistungsaufnahme, Lichtstrom, Lebensdauer, Zahl der Schaltzyklen, Farbtemperatur, Anlaufzeit, Dimmbarkeit, Abmessungen und Quecksilbergehalt. In webgestützten Infos müssen weitere Angaben zu den

Datum	verboten	erlaubt
1. September 2009	100 Watt + höher	Energieklasse C und besser
1. September 2010	75 Watt + höher	
1. September 2011	60 Watt + höher	
1. September 2012	15, 25, 40 Watt + höher	
1. September 2016	Klassen C bis G	Klassen A + B

Tabelle 8: Ausstiegsplan für normale Glühlampen

### Die neue Lampenverpackung



1 Die vordere Zahl gibt die **Leistungsaufnahme** in Watt an, also wie viel Energie die Lampe beim Betrieb benötigt. Die hintere Zahl gibt an, welcher klassischen Glühbirne die Leistung der Lampe entspricht.

2 Lm = Lumen, gibt die **Lichtleistung** an, also wie hell eine Lampe ist.

3 Years/h (hours), gibt die ungefähre Lebensdauer in Stunden und Jahren an.

4 K = Kelvin, gibt die **Lichtfarbe** an, also ob das Licht warmweiss, neutral oder kaltweiss ist.

5 Falls die Lampe Quecksilber enthält, sind folgende Informationen anzugeben: **Hg = Hydragryum**, gibt an, ob und wenn ja, wie viel Quecksilber eine Lampe enthält. **www.xyz.yy**: Auf einer Website finden Sie Informationen, wie die Lampe bei versehentlichem Bruch zu entsorgen ist.

6 **Farbwiedergabe**: je niedriger der  $R_a$ -Wert, desto schlechter ist die Farbwiedergabe, d.h. dass die Farben der angeleuchteten Gegenstände anders wiedergegeben werden als bei Tageslicht. (Diese Angabe ist optional)

60 bis 80 = mittel (Aussenbereich) 80 bis 90 = gut bis sehr gut (Wohnraum, Büro, Schule), 90 bis 100 = ausgezeichnet (Grafikarbeitsplätze, Wohnraum)

7 **Dimmereignung**, gibt an, ob sich eine Lampe für den Dimmerbetrieb eignet.

8 **Anlaufzeit**: Zeitraum, den eine Lampe benötigt um 60% des angegebenen Helligkeitswerts zu erreichen. (Guter Wert für Sparlampen: < 30 Sekunden)

9 **Schaltzyklen**, gibt an, wie oft eine Lampe an- bzw. ausgeschaltet werden kann. (Guter Wert für Sparlampen: ab 75 000-mal)

Abbildung 25: Beispiel einer Produktedeklaration

Lampen gemacht werden: Leistungsfaktor, Lichtstromerhalt, Zündzeit, Farbwiedergabe und Empfehlung zur Entsorgung. Dank der Deklarationspflicht ist es nun möglich, die Qualität von Lampen auch ausserhalb ihrer Energieeffizienz zu beurteilen. Die in der Deklaration erwähnten Begriffe sind im Folgenden erklärt.

### Anforderungen an Lampen

Neben der Deklarationspflicht gelten für Lampen Mindestanforderungen. Die Anforderungen treten in zwei Etappen für Sparlampen (kompakte Leuchtstofflampen mit integriertem Betriebsgerät) und für Glüh- und Halogenlampen in Kraft. Für LED-Lampen werden in der Richtlinie keine Anforderungen gestellt (Tabelle 9).

### Erläuterungen zu den einzelnen Anforderungen

■ **Lebensdauerfaktor:** Ab dem Jahr 2013 müssen Sparlampen so konstruiert sein, dass nach 6000 Betriebsstunden mindestens noch 70 % der Lampen brennen (2009 noch 50 %).

■ **Lebensdauer:** Die minimale Lebensdauer von Glüh- und Halogenlampen muss ab 2013 2000 Betriebsstunden betragen – wobei der Kauf von normalen Glühlampen dann verboten ist.

■ **Vorzeitiger Ausfall:** Maximal 5 % der Lampen dürfen frühzeitig ausfallen. Die Betriebszeit bis zum vorzeitigen Ausfall ist bei Sparlampen und Glühlampen unterschiedlich definiert. Ab 2013 gelten strengere Auflagen.

■ **Die Zahl der Schaltzyklen** gibt an, wie häufig eine Lampe ein- und ausgeschaltet werden kann, bis sie defekt ist. Diese Zahl schwankt in der Praxis enorm: Die beste Sparlampe kann mit 1 Million Schaltungen praktisch unbegrenzt ein- und ausgeschaltet werden, schlechte Lampen schaffen nur gerade 3000 Schaltungen (Faktor 300). Die Zahlen in der Tabelle 9 sind aus Gründen der Verständlichkeit vereinfacht wiedergegeben: statt 3000 (im Jahr 2009) steht in der Norm «= halbe Lebensdauer» bzw. «= Lebensdauer» bei 6000 h im Jahr 2013.

	Sparlampen		Glühlampen	
	2009	2013	2009	2013
Lebensdauerfaktor (nach 6000 Betriebsstunden)	> 0,5	> 0,7	–	–
Lebensdauer			> 1000 h	> 2000 h
Vorzeitiger Ausfall (nach Betriebsstunden)	< 5 % (200 h)	< 5 % (400 h)	< 5 % (100 h)	< 5 % (200 h)
Zahl der Schaltzyklen			> 4000	> 8000
■ Sofortstartlampen	> 3000	> 6000		
■ Warmstartlampen	> 10000	> 30000		
Zündzeit	< 2 s	< 1 s	< 0,2 s	< 0,2 s
Anlaufzeit			< 1 s	< 1 s
■ ohne Amalgam	< 60 s	< 40 s		
■ mit Amalgam	< 120 s	< 100 s		
Lampenlichtstromerhalt				
■ nach 2000 Betrieb	> 85 %	> 88 %	–	–
■ nach 6000 h Betrieb	k.A.	> 70 %	–	–
Leistungsfaktor				
■ unter 25 Watt	> 0,5	> 0,55	> 0,95	> 0,95
■ über 25 Watt	> 0,9	> 0,9	> 0,95	> 0,95
Farbwiedergabe	> 80	> 80	100	100
UVA- und UVB-Strahlung	≤ 2,0 mW pro 1000 Lumen			
UVC-Strahlung	≤ 0,01 mW pro 1000 Lumen			
Quecksilber (RoHS)*	< 5 mg		0 mg	

**Tabelle 9:**  
Anforderungen an Spar- und Glühlampen

\*RoHS ist das Kürzel für die EG-Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.

■ **Die Zündzeit** bezeichnet die Zeitspanne vom Betätigen des Lichtschalters bis zur ersten Lichtabgabe der Lampe. Bei einer Sparlampe «Modell 2009» darf es also 2 Sekunden dauern, bis die Lichtquelle leuchtet.

■ **Anlaufzeit:** Zeitdauer nach der Zündzeit bis zum Moment, in dem 60 % der maximalen Lichtabgabe verfügbar ist. Da der Anlauf logarithmisch verläuft, dauert es ein Mehrfaches der 60 %-Anlaufzeit bis zur 100 %-Lichtabgabe. Bei Sparlampen können das bis zu 15 Minuten sein. Das menschliche Auge nimmt allerdings die Veränderung zwischen 60 % und 100 % kaum wahr. Sparlampen mit Amalgam brauchen noch länger, um hell zu leuchten; Amalgam hat es vor allem in Sparlampen in Glühlampenform, in Sparlampenspots und in Miniatur-Sparlampen zur Erhöhung der Schaltfestigkeit und der Lebensdauer. Die Kriterien «Anlaufzeit» und «Zahl der Schaltzyklen» sind in technischer Hinsicht gegenläufig. Beim Kauf muss hier ein individuelles Optimum gefunden werden.

■ **Lampenlichtstromerhalt:** Alle Lampentypen verlieren mit der Zeit an Leuchtkraft; der Lichtstrom geht zurück. Mit dem Lampenlichtstromerhalt wird definiert, wie gross der Anteil des Lichtes am ursprünglichen Wert nach 2 000 h respektive 6 000 h noch ist. Dieser Wert wird in Zukunft insbesondere bei den sehr langlebigen LED-Lampen eine wichtige Rolle spielen.

■ **Leistungsfaktor:** Eine elektrische Grösse, die das Verhältnis zwischen bezogener Wirkleistung und transportierter Scheinleistung angibt. Für die Konsumenten ist dieser Wert von geringer Bedeutung. Es ist aber die Kennzahl zur Beurteilung der technischen Qualität des Produktes und der damit verbundenen Netzverschmutzung. Dass Sparlampen unter 25 Watt einen Leistungsfaktor von 0,5 ausweisen dürfen, ist aus Sicht des Ingenieurs sehr fragwürdig und nur aus einer ökonomischen Sicht zu erklären.

■ **Farbwiedergabe:** Sie gibt die Qualität des Lichtes an. Der Farbwiedergabeindex ist allerdings eine relativ oberflächliche Definition für die Güte des Lichts. Auch bei

einem guten Wert von 80 kann man subjektiv, je nach Farbsituation, einen schlechten Eindruck haben. Eine genauere Beurteilung der Farbwiedergabe ist nur durch die Betrachtung des gesamten Farbspektrums möglich. Vor allem bei der LED-Technik kommt diesem Aspekt eine grosse Bedeutung zu.

■ **Farbtemperatur:** In diesem Punkt werden keine Vorgaben gemacht: Als Warmweiss wird eine Farbtemperatur zwischen 2 500 und 3 000 Kelvin bezeichnet; Tageslichtweiss liegt bei 6 500 Kelvin. Mit Sparlampen und LED können alle Farbtemperaturen (z. B. auch neutrales Weiss mit 4 000 Kelvin) generiert werden, Glüh- und Halogenlampen sind immer warmweiss.

■ **Ultraviolett-Strahlung:** Für alle Lampentypen gelten dieselben Anforderungen. Bei LED ist der UV-Anteil im Licht deutlich geringer als bei allen anderen Leuchtmitteln; deshalb stösst LED vor allem in der Museums- und der Ladenbeleuchtung auf grosses Interesse.

■ **Quecksilber:** Der Wert von 5,0 mg Quecksilber pro Sparlampe stammt aus der europäischen Richtlinie «2002/95/EG RoHS» zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS: Restriction of (the use of certain) hazardous substances). Ohne Quecksilber ist eine Sparlampe nicht funktionsfähig. Das Quecksilber kann aber minimiert werden; der tiefste Quecksilbergehalt einer Sparlampe liegt bei ca. 1,2 mg.

### **Beitrag des Glühlampenverbots zur Stromeinsparung**

Mit welchen Auswirkungen auf den Energieverbrauch ist aufgrund des Verbots von Glühlampen zu rechnen? Dank der Quasi-Monopol-Stellung der Lampengiganten Osram und Philips kann mittels Branchenstatistik eine relativ genaue Bilanz gezogen werden (Abbildung 26).

■ **1998 bis 2006:** Starke Zunahme des Stromverbrauchs für Beleuchtung in Haushalten. Auslöser war der «Halogen-Boom»; dabei wurden praktisch keine herkömmlichen Glühlampen substituiert; die Halogenlampen kamen als zusätzliche Lichtquellen dazu.

■ **2009 bis 2012:** Umsetzung des Glühlampenverbotes, Teil 1. Nur noch der Verkauf von Lampen der Effizienzklassen A bis D sind erlaubt, die Klassen F bis G werden verboten. Ende 2011 ist dieser 1. Schritt praktisch vollzogen; von Gesetzes wegen wäre das Out-Phasing der Glühlampen bis September 2012 vorgesehen. Dieser 1. Schritt des Glühlampenverbotes bringt eine Stromeinsparung gegenüber 2006 von rund 300 GWh/a, wenn man den kleinen Rest an Glühlampen von 2012 noch dazu nimmt. Stromeinsparung bezogen auf den Schweizer Gesamtstromverbrauch: rund 0,5 % (gegenüber 2006).

■ **Bis 2016:** Umsetzung des Glühlampenverbotes, Teil 2: Nur noch der Verkauf von Lampen der Klassen A und B sind erlaubt, das sind die Spar- und LED-Lampen, sowie einige wenige Halogenlampen. Die Klassen C bis G sind verboten. Einsparung: 950 GWh/a gegenüber 2012. Diese Einsparung ist aber nur möglich, wenn auch die Spotlampen einbezogen werden – was mit Stand 2011 zwar geplant, aber noch nicht im Vollzug ist.

■ **Nach 2016:** Eine Steigerung der Effizienz der Leuchtmittel der Klasse A um 30 % ist mit der LED-Technik möglich. Sinnvoll wäre die Definierung einer Klasse A+ und evtl. auch A++. Es könnten weitere 300 GWh/a

eingespart werden. Damit scheint aber das Potenzial zur Verbrauchsreduktion mit technologischen Mitteln in den Haushalten erreicht.

### Japanische Stromsparkampagne

Für die Menschen in Japan bedeutet die Katastrophe von Fukushima neben der Angst vor der nuklearen Verseuchung ihres Heimatlandes und verstärkten Lebensmittelkontrollen, dass der Strom streng rationiert werden muss. Tatsächlich scheint das Thema Energiesparen noch nicht in den Köpfen vieler Japaner angekommen zu sein und die drastische Lage überfordert manch einen Bewohner Japans. Dieses Problem lösen japanische Grafikdesigner mit Sujets, die vor allem Glühlampen abbilden.

Energieverbrauch Beleuchtung in Haushalten der Schweiz nach Effizienzklassen

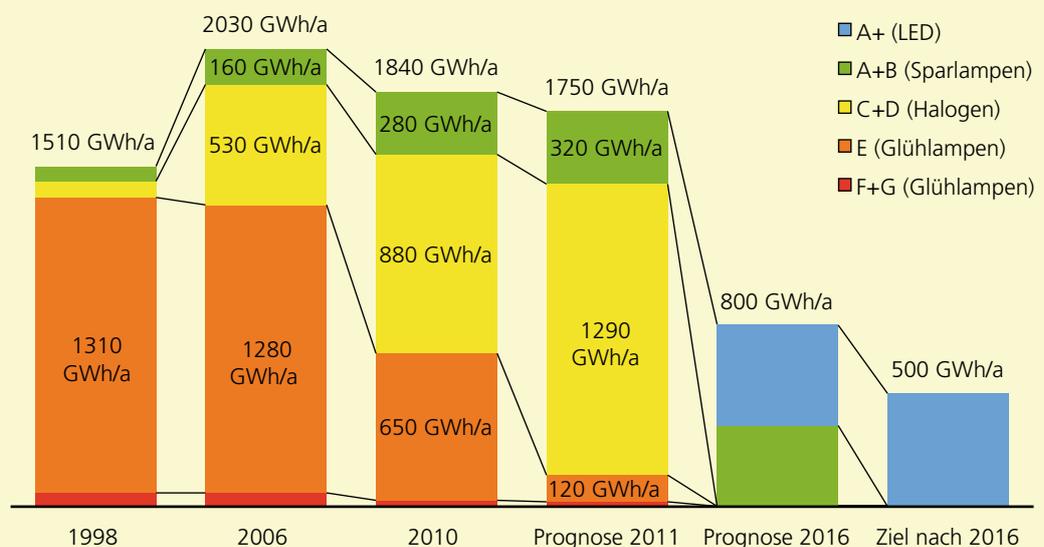


Abbildung 26:  
Energieverbrauchs-  
entwicklung der Be-  
leuchtung in  
Schweizer Haus-  
halten



Abbildung 27: Japanische Stromsparkampagne nach dem Reaktorunglück von Fukushima 2011

### 2.3 Norm SIA 380/4

Der SIA (Schweizerischer Ingenieur und Architekten Verein) ist in der Schweiz zuständig für die Normen im Hoch- und Tiefbau. Eine der vier sektoriellen Normenkommissionen ist die Kommission für Gebäudetechnik und Energie (KGE). Die KGE steuert und koordiniert alle Normen in diesem Bereich, unter anderem auch die SIA-Norm 380/4 (Elektrische Energie im Hochbau). SIA 380/4 nimmt eine spezielle Stellung im schweizerischen aber auch europäischen Normenwesen ein: Als die Norm 1995 in Kraft gesetzt wurde, gab es im gesamten europäischen Umfeld kein Pendant; dies änderte sich erst 10 Jahre später mit der Umsetzung der europäischen Gebäude Richtlinie EPBD: Energy Performance of Buildings Directive. Die Vorreiterrolle der Schweiz in diesem Bereich bringt Vorteile: grundsätzlich verpflichteten sich die europäischen Länder nämlich, die Euro-normen anzuwenden und keine neuen eigenen Normen zu entwickeln, wo es bereits europäische gibt. Da SIA 380/4 aber bereits lange vor der EPBD entstanden ist, kann sie weiterhin angewendet und entwickelt werden, ohne europäische Vereinbarungen zu verletzen. Das ist ein grosses Plus in der Frage der Umsetzung: Vorgehen und Rechenmodell sind bei SIA 380/4 deutlich praxis-orientierter gestaltet als bei den zahlreichen europäischen Übernormen, welche das Thema «elektrische Energie im Hochbau» abdecken sollen.

#### Ziel und Zweck der Norm

Zum Normenwerk des SIA gehört auch die Norm SIA 380/4, Elektrische Energie im Hochbau, in deren Vorwort es heisst: «Die Norm SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau hat einen rationellen Einsatz von Elektrizität in Bauten und Anlagen zum Ziel und will als Planungshilfe dazu beitragen, den Elektrizitätsverbrauch von Neu- und Umbauten zu optimieren. Sie definiert die massgebenden Kenngrössen und legt eine standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs fest.» Die Norm umfasst vier Kapitel:

- Verständigung (Erklärung zu Begriffen)
- Vorgehen (Aufgaben der Beteiligten)
- Berechnungsverfahren zum elektrischen Leistungs- und Energiebedarf
- Anforderungen an Beleuchtungs- sowie Lüftungs- und Klimaanlage

#### Verständigung

Die wichtigsten Begriffe aus der Norm SIA 380/4:

- **Elektrizitätsverbrauch** (MWh/a): Jährlicher, gemessener Verbrauch an elektrischer Energie eines Gebäudes oder einer Anlage.
- **Elektrizitätsbedarf** (MWh/a): Jährlicher berechneter Bedarf an elektrischer Energie eines Gebäudes, einzelne Nutzungen, von Räumen und von installierten Geräten.
- **Spezifischer Elektrizitätsbedarf** (kWh/m<sup>2</sup>): Auf die Nettofläche bezogener jährlicher Elektrizitätsbedarf von Gebäuden, Nutzungen und Räumen.

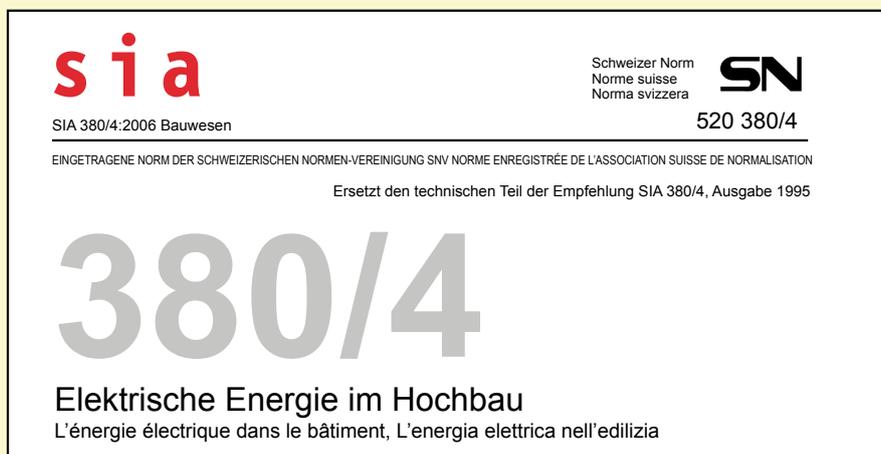


Abbildung 28:  
Aus dem Titelblatt  
der SIA-Norm 380/4

■ **Teil-Energiekennzahl Beleuchtung** ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ): Auf die Energiebezugsfläche (des gesamten Gebäudes) bezogener Elektrizitätsbedarf ( $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ ).

■ **Geschossfläche** ( $\text{m}^2$ ): Bruttofläche inkl. Wände und Konstruktionsflächen

■ **Nettofläche** ( $\text{m}^2$ ): Nutzbare, vermietbare bzw. beleuchtete Fläche ohne Wände und Konstruktionsflächen.

■ **Energiebezugsfläche** ( $\text{m}^2$ ): Summe aller beheizten oder klimatisierten Geschossflächen in einem Gebäude. In Gebäuden ohne Parking beträgt die Nettofläche rund 90 % der Energiebezugsfläche.

■ **Grenzwerte** ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ) sind bei Neubauten einzuhalten und bei Umbauten anzustreben; sie entsprechen dem Stand der Technik und sind wirtschaftlich.

■ **Zielwerte** ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ) sind bei Neubauten anzustreben; sie ergeben sich durch optimale Kombination der besten am Markt erhältlichen Produkte.

■ **Projektwerte** ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ) sind die mit dem Berechnungsverfahren ermittelten Energieverbrauchswerte.

■ **Systemanforderung**: Anforderung an den Elektrizitätsbedarf des gesamten Gebäudes. Bei einer Bewertung anhand der Systemanforderung besteht planerische Freiheit bei der Auswahl und der Kombination von Komponenten (Lampen, Leuchten, Regelungen, Raumgestaltung). Energetisch gute und schlechte Anlagen können miteinander verrechnet werden. Die Kompensation erfolgt über die Flächenge-

wichtung. Die Beleuchtung kann allerdings nicht mit anderen Verwendungszwecken (z. B. Lüftung oder Gebäudehülle) verrechnet werden.

■ **Einzelanforderungen**: Anforderungen an Leuchten, bestehend aus Lampe, Betriebsgerät und Leuchte. Bei Einzelanforderungen besteht keine Kompensationsmöglichkeit. Bei Beleuchtungen gelten Einzelanforderungen nur in Verbindung mit Vorgaben an die Beleuchtungsstärke (gemäß Norm SNEN-12464).

■ **Elektrische Leistung**: aufgenommene mittlere Leistung einer Leuchte (inkl. Betriebsgerät) bei Vollast im Dauerbetrieb während einer Viertelstunde. Die Summe aller installierter Leuchten in einem Raum, einer Nutzung oder im gesamten Gebäude ergibt die installierte Leistung. Da selten alle Leuchten gleichzeitig brennen, ist die maximale gemessene Leistung in der Regel tiefer als die installierte Leistung.

■ **Volllaststunden**: Für eine einzelne, nicht dimmbare Leuchte entspricht die Volllaststundenzahl der Betriebszeit (Abbildung 29). Da selten alle Leuchten gleichzeitig brennen, ergibt sich, hochgerechnet auf eine Nutzung oder auf das gesamte Gebäude, eine mittlere Betriebsstundenzahl. Die Volllaststundenzahl ergibt sich aus dem Verhältnis von Energiebedarf und installierter Leistung. Die Volllaststundenzahl ist also in der Regel tiefer als die effektive Betriebszeit der einzelnen Leuchten.

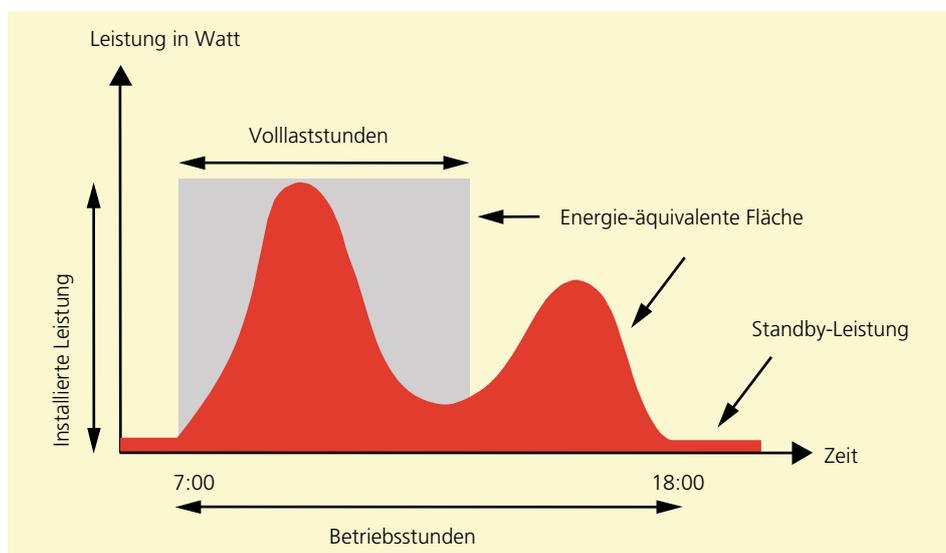


Abbildung 29:  
Definition der Voll-  
laststunden

■ **Raumindex:** Quantifiziert den Wandanteil eines Raumes, bezogen auf die Bodenfläche (Abbildung 30). Je höher der Raumindex, desto weniger Kunstlicht muss installiert werden, um ein erwünschtes Beleuchtungsniveau zu erreichen; der lichtabsorbierende Wandanteil wird kleiner und die Leuchten können das Licht frei in den Raum abgeben. Der Wert liegt in der Praxis zwischen 0,5 und 5.

■ **Lichtstrom (Lumen):** Strahlungsleistung einer Lichtquelle, bewertet mit der Empfindlichkeit des menschlichen Auges auf definierte Lichtfarben.

■ **Beleuchtungsstärke (Lux):** Lichtstrom, der auf eine definierte Fläche, z. B. auf der Tischoberfläche, auftritt. In der EN-Norm 12464 (Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen) sind für verschiedene Sehaufgaben mittlere Beleuchtungsstärken (Wartungswerte) aufgelistet.

■ **Richtwerte zur Beleuchtungsstärke** sind unter 2.4 zu finden.

■ **UGR-Wert:** Blendziffer, Mass für die Blendung. Verhältnis der Direktblendung durch Leuchten zur allgemeinen Raumhelligkeit respektive zur Leuchtdichte im Hintergrund. In der EU-Norm EN 12464 sind zulässige UGR-Werte aufgelistet. Je grösser der UGR-Wert, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit für Blendung. Das Verfahren des «Unified Glare Rating» (UGR) wurde von der CIE (Commission International de l'Eclairage) entwickelt, um weltweit ein einheitliches System der Blendungsbewertung verfügbar zu machen. Im Gegensatz zum Söllner-Verfahren, das die Blendung

durch einzelne Leuchten bewertet, ist die UGR-Formel geeignet, die Blendung einer Beleuchtungsanlage zu beurteilen. Der UGR-Wert ist ein raumspezifischer Wert, er kann auch als Kennwert für Leuchten dienen, wenn ein standardisierter Raum zugrunde gelegt wird; als Standard wird ein Raum mit den Abmessungen 12 m / 24 m / 3 m (Länge / Breite / Höhe) vorausgesetzt. Richtwerte für Blendziffern sind unter 2.4 zu finden.

### Zusammenarbeit der Beteiligten

Die Beleuchtungsplanung in einem Gebäude spielt sich im Wesentlichen im Dreieck Bauherrschaft (Besteller) – Architekt – Lichtplaner (und Elektroplaner) ab. Für die Effizienz einer Beleuchtungsanlage haben alle Beteiligten ihre Verantwortung. In der Praxis läuft der Prozess einer Beleuchtungsplanung häufig in einzelnen Schritten ab. Das hat zur Folge, dass der Elektroplaner am Schluss des Planungsprozesses die Mängel der früheren Schritte mittels Regelungen beheben sollte, um eine effiziente Beleuchtung zu ermöglichen (Abbildung 31). Doch die Beleuchtungsplanung fängt früher an:

■ **Bauherrschaft:** Sie macht Vorgaben; diese sollten sich nicht gegenseitig widersprechen, z. B. Minergie-Standard für die Beleuchtung und Wände aus schwarzem Samt. Auch andere Anforderungen an Gestaltung und Funktionalität sowie unrealistischer Kostendruck sind keine guten Voraussetzungen für eine effiziente Beleuchtung.

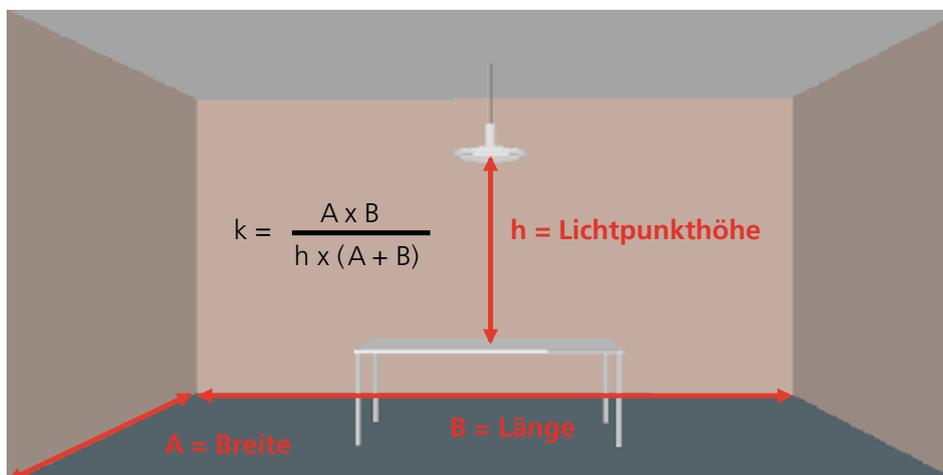


Abbildung 30:  
Definition des  
Raumindexes

■ **Architekt:** Die Raumhelligkeit, aber auch die Möglichkeiten der Tageslichtnutzung liegen in den Händen des Architekten und beeinflussen den Energieverbrauch für die künstliche Beleuchtung stark. Besonders heikle Punkte bei vielen architektonischen Entwürfen sind minderwertige Sonnenschutzeinrichtungen (flächige Markisen statt variable Lamellen) und Sonderanfertigungen von Leuchten als Kunstobjekte.

■ **Licht- und Elektroplaner:** Er sollte wenn immer möglich die Leuchtauswahl bestimmen; lichttechnisch optimierte Leuchten geben im Schnitt doppelt soviel Licht ab im Vergleich zu individuell gestalteten Sonderanfertigungen; das wirkt sich direkt auf den Energieverbrauch aus. Lichtregulierung – richtig geplant und montiert – bringt sehr viel; nicht selten fehlt bei der Lichtregulierung aber das Geld und die Zeit für eine professionelle Umsetzung.

■ **Der Elektro- oder Lichtplaner** ist meist zuständig für den Energienachweis; wenn dieser den Anforderungen nicht genügt, reichen oft einfache Korrekturen bei der Installation nicht; nur die Hinterfragung der Wünsche der Bauherrschaft und der architektonischen Gestaltung können die Effizienz noch verbessern. Das funktioniert aber nur in einer interdisziplinären Zusammenarbeit.

**Installierte Leistung**

Die elektrische Anschlussleistung der Beleuchtung in einem Raum berechnet sich mittels der Formel in Abbildung 32. Die Einheit «W/m<sup>2</sup>» ergibt sich, weil die Beleuchtungsstärke in «Lux» auch als «Lumen/m<sup>2</sup>» angegeben werden kann und für die Lichtausbeute der Lampe die Einheit «Lumen pro Watt» verwendet wird. Die übrigen Zahlen sind dimensionslos. Die Formel wird auch «Wirkungsgradverfahren»

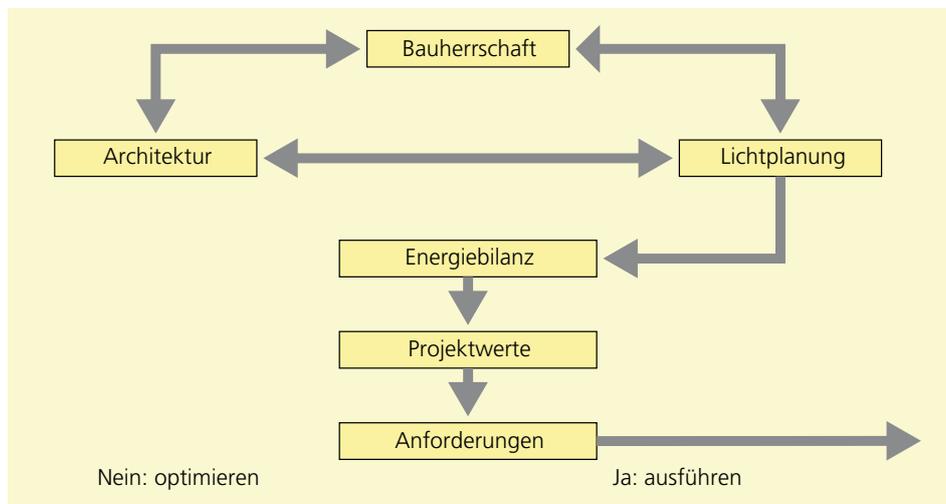


Abbildung 31: Optimale Zusammenarbeit der Beteiligten auf gleicher Ebene

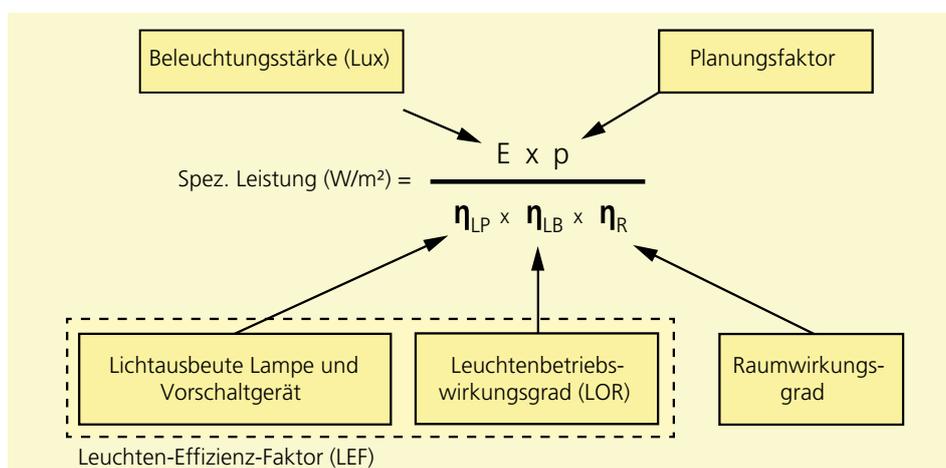


Abbildung 32: Berechnung der installierten Leistung nach SIA 380/4

ren» genannt und bildet die Basis für alle Lichtberechnungen – auch von komplexen Simulationen in Programmen wie Relux oder Dialux.

### Beleuchtungsstärke

Angaben zur Beleuchtungsstärke werden aus der Norm SN EN 12464 (Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen) für jeden typischen Raum entnommen (Tabelle 19, Seite 41 und Tabelle 22, Seite 45). Eine Schweizer Bauherrschaft kann auch höhere oder tiefere Beleuchtungsstärken definieren. In Deutschland sind Minimalbeleuchtungsstärken für Arbeitsplätze in einer Arbeitsstätte als Richtlinie festgesetzt und lassen sich von Arbeitnehmern gesetzlich einfordern. Bei höheren Beleuchtungsstärken dürfen die Anforderungen für Standardnutzungen nach SIA 380/4 nicht angepasst werden, die erhöhte Beleuchtungsstärke muss durch eine effizientere Beleuchtung kompensiert werden.

### Planungsfaktor

Mit dem Planungsfaktor wird die Ausleuchtungsstärke erhöht, um Alterung und Verschmutzung der Beleuchtung während ihrer Lebensdauer zu kompensieren. Als Standardwert hat sich der Wert 1,25 etabliert. D. h. die Basisbeleuchtungsstärke (z. B. 500 Lux) wird um 25 % erhöht (auf 625 Lux), um sicher zu sein, dass die Beleuchtung auch nach Jahren des Betriebs noch 500 Lux liefert. Es sind auch Argumente für höhere Planungsfaktoren zu hören, beispielsweise von 1,5, da Verschmutzung und Alterung in der Realität viel höher seien. Dem ist entgegenzuhalten, dass ein um 25 % höherer Planungsfaktor eine Energieverbrauchserhö-

hung von 25 % mit sich bringt, also eine regelmässige Wartung und Reinigung sich lohnt. Für SIA 380/4 und Minergie wird mit einem Planungsfaktor von 1,25 gerechnet. Ein höherer Planungsfaktor muss durch eine effizientere Beleuchtung kompensiert werden.

### Lichtausbeute von Lampe und Vorschaltgerät

Es ist sinnvoll, die Lichtausbeute von Lampe und Vorschaltgerät gemeinsam zu erheben, da Lampen (ausser Glühlampen) ohne Vorschaltgerät gar nicht betrieben werden können. In Tabelle 36 auf Seite 63 sind die am häufigsten verwendeten Leuchtstofflampen mit ihrer Systemlichtausbeute aufgelistet.

Die Qualität der Vorschaltgeräte ist unterschiedlich. In alten Beleuchtungsanlagen werden häufig noch konventionelle oder magnetische Vorschaltgeräte (KVG) verwendet, die eine Verlustleistung bis zu 30 % der Lampenleistung haben. In neuen Anlagen kommen elektronische Vorschaltgeräte (EVG) zum Einsatz, die deutlich weniger Verluste haben. Die CELMA (Verband der nationalen Verbände der Hersteller von Leuchten und elektrotechnischen Komponenten für Leuchten in der Europäischen Union) klassiert Betriebsgeräte für Leuchtstofflampen. Die Systemleistungen einiger typischer Lampen-Vorschaltgerätkombinationen sind in Tabelle 10 dargestellt. Bei Neuanlagen sollten heute lediglich Vorschaltgeräte der Klassen A1 (dimmbare) sowie A2 (nicht dimmbare) eingesetzt werden. Die Klassierung ist auf den Geräten oder in Katalogen vermerkt.

■ Die Klasse A1 bezeichnet dimmbare elektronische Vorschaltgeräte, wobei die

Lampen-Typen	Leistungen Lampen (W)	CELMA-Klassen, Systemleistungen (W)						
		A1	A2	A3	B1	B2	C	D
T8 (26 mm)	36	19	36	38	41	43	45	>45
T8 (26 mm)	58	29,5	55	59	64	67	70	>70
T5 (16 mm)	35	21	39	42	–	–	–	–
T5 (16 mm)	54	31,5	60	63	–	–	–	–
TC D/E	18	10,5	19	21	24	26	28	>28
TC LE	55	32,5	61	65	–	–	–	–

Tabelle 10:  
CELMA-Klassen für  
Vorschaltgeräte

Anforderung an die Leistung bei Dimmung auf 50 % Lichtstrom definiert ist.

- Die Klassen A2 und A3 bezeichnen nicht dimmbar elektronische Vorschaltgeräte.
- Die Klassen B1 und B2 bezeichnen verlustarme magnetische Vorschaltgeräte.
- Die Klassen C und D bezeichnen konventionelle magnetische Vorschaltgeräte; diese sind seit 2005 für Neuanlagen verboten.

### Leuchtenbetriebswirkungsgrad (LOR) und Leuchten-Effizienz-Faktor (LEF)

In der Bezeichnung «Leuchtenbetriebswirkungsgrad» steckt der Begriff «Betrieb», was bedeutet, dass es sich nicht um den optischen Wirkungsgrad einer Leuchte handelt. Der optische Wirkungsgrad gibt die effektiven Verluste des Lichtes im Reflektor an; beim Betriebswirkungsgrad kommt der Umstand dazu, dass Leuchtstofflampen je nach Erwärmung unterschiedliche Mengen Licht abgeben. Diese Tatsache kann in bestimmten Fällen einen

Betriebswirkungsgrad von über 100 % zur Folge haben. Dies ist dann der Fall, wenn eine Lampe im warmen Betriebszustand ein effizienteres Niveau erreicht.

Gemessen wird der Leuchtenbetriebswirkungsgrad in zwei Schritten: einerseits die Lampe ohne Reflektor und andererseits die gesamte Leuchte mit der Lampe integriert. Das Verhältnis der zwei Messungen ergibt den Leuchtenbetriebswirkungsgrad, «Light Output Ratio», LOR. Der LOR ist also eine von der Leuchte und der Lampe abhängige Grösse; deshalb lässt sich der LOR auch bei identischem Reflektor nicht auf eine andere Lampenleistung übertragen. Der identische Reflektor kann also z. B. mit einer 28-Watt-Lampe einen Leuchtenbetriebswirkungsgrad von 87 % haben und mit einer 54-Watt-Lampe nur noch 81 %, weil die 54-Watt-Lampe in der Leuchte wärmer wird, sinkt die gesamte Lichtmenge. Weil der Leuchtenbetriebswirkungsgrad stark vom Lampentyp ab-

	Entladungslampen	Kompaktleuchtstofflampen	LED	Leuchtstoffröhren
Deckenanbauleuchte		91 %	100 %	109 %
Deckeneinbauleuchte		83 %	100 %	93 %
Downlight		81 %	100 %	
Pendelleuchte		92 %	100 %	101 %
Stehleuchte	67 %	98 %	100 %	98 %
Strahler	87 %		100 %	
Tischleuchte		93 %	100 %	96 %
Wandleuchte		78 %		91 %

*Tabelle 11:  
Beste Betriebswirkungsgrade (LOR) aller nach Minergie zertifizierten Leuchten*

	Entladungslampen (lm/W)	Kompaktleuchtstofflampen (lm/W)	LED (lm/W)	Leuchtstoffröhren (lm/W)
Deckenanbauleuchte		66 (35)	78	84 (55)
Deckeneinbauleuchte		66 (35)	81	80 (55)
Downlight		51 (35)	77	
Pendelleuchte		70 (50)	55	84 (70)
Stehleuchte	59 (40)	93 (50)	66	72 (65)
Strahler	71 (40)		58	
Tischleuchte		68 (35)	44	67 (55)
Wandleuchte		61 (50)		77 (65)

Grün = Bestwerte nach Leuchtmitteln, in Klammern Grenzwerte nach SIA 380/4

*Tabelle 12:  
Beste Leuchten-Effizienz-Faktoren (LEF), auch als Systemlichtausbeute bezeichnet, aller nach Minergie zertifizierten Leuchten*

hängig ist, müsste dieser Wert einer Leuchte mit allen denkbar möglichen Lampen quantifiziert werden, was sehr aufwändig ist. Besser eignet sich deshalb zur energetischen Bewertung der Leuchten-Effizienz-Faktor (LEF), der alle Komponenten, also Lampe, Vorschaltgerät und Leuchte berücksichtigt. Kommt dazu, dass bei LED-Leuchten der LOR gar nicht bestimmt werden kann und deshalb mit 100 % angegeben wird.

Erläuterungen zu Tabelle 12: Auf die Frage, welches Leuchtmittel für welchen Leuchtentyp am besten geeignet ist, heisst die Antwort (grünmarkierte Felder):

- LED: Deckeneinbauleuchten, Downlights
- Leuchtstoffröhren: Deckenanbauleuchten, Pendelleuchten, Wandleuchten
- Kompaktleuchtstofflampen: Stehleuchten und Tischleuchten
- Entladungslampen: Strahler

Es ist bemerkenswert, dass LED bereits in zwei häufig eingesetzten Leuchtenkategorien an erster Stelle liegt. Schon bald dürften Strahler und Tischleuchten mit LED-Technik Spitzenwerte erreichen. Der Vergleich der besten Werte mit den Grenzwerten nach SIA 380/4 zeigt das Sparpotenzial auf. Die Grenzwerte wurden als Mittelwerte aller angebotenen Leuchten

ermittelt (Quelle: Relux Leuchtendatenbank Stand 2006). Unter der Annahme, dass der Anteil der neu verkauften Leuchten dem Mengengerüst in der Minergie-Datenbank entspricht, ergibt sich ein Sparpotenzial gegenüber dem Angebot von 34 %, was einer Steigerung der mittleren Energieeffizienz der Leuchten von 53 lm/W auf 81 lm/W entspricht. Dieser Vergleich bezieht sich nur auf das aktuelle Angebot; da in der Praxis noch viel ältere und ineffizientere Leuchten in Betrieb sind, ist das reale Potenzial noch höher. Auf zwei besonders ineffiziente Leuchten-Lösungen sei hier noch hingewiesen.

- Hinterleuchtete Mattglasscheiben haben häufig einen Betriebswirkungsgrad (LOR) unter 30 %, das entspricht selbst bei bester Leuchtmittelwahl einem Leuchten-Effizienzfaktor (LER) von nur 20 lm/W bis 30 lm/W.
- Ebenso ineffizient sind Streiflichter, die oft in Korridoren von Spitälern und Bürobauten anzutreffen sind. Hier gelangt oft nur gerade 10 % des erzeugten Lichtes in den Raum, der Rest wird im engen Schlitz, der wandseitig in der Decke eingelassen ist, vernichtet (Abbildung 33).

#### Raumwirkungsgrad

Der Wirkungsgrad des Raumes hängt vom Material der umgebenden Flächen und de-



Abbildung 33:  
Streiflichter als sehr  
ineffiziente Licht-  
lösung

ren Farben ab. Aus Tabelle 13 wird deutlich, dass die Reflexionseigenschaften – die für die Helligkeit im Raum entscheidend sind – sehr stark durch das Material bestimmt sind. Während ein reinweisser Farbanstrich über 80 % des Lichtes, das auf die Wände oder die Decke auftrifft, reflektiert, sind es bei einem rosa oder hellblauen Anstrich nur noch 50 %. Bei dunklen Anstrichen (z. B. dunkelrot) oder Sichtbetonwänden sinkt der Reflexionsgrad auf 20 % ab. Die Materialwahl und die Farbgebung beeinflussen die notwendige installierte Leistung für das künstliche Licht und die Möglichkeiten der Tageslichtnutzung sehr stark. Räume lassen sich grob in drei Kategorien einteilen (Tabelle 14).

■ Bei den Wänden ist zu beachten, dass im Reflexionsgrad die Möblierung inbegriffen ist; diese ist häufig dunkler als die Wände; der Reflexionsgrad beträgt bei üblicher Möblierung und hellen Wänden etwa 50 %.

■ Wenn Wände und Decke in Sichtbeton gehalten sind – oder in anderen wenig reflektierenden Materialien – dann gilt der Raum als dunkel.

■ Die Reflexionseigenschaft des Bodens sind weniger relevant für die nutzbare Beleuchtungsstärke.

Der Raumwirkungsgrad eines Raumes hängt von zwei weiteren Einflussfaktoren ab, der Raumgrösse (definiert durch den Raumindex) und der Abstrahlcharakteristik der Leuchten.

Der Vergleich der zwei Grafiken in Abbildung 34 illustriert den grossen Einfluss der Raumhelligkeit und der Abstrahlrichtung der Leuchten auf den Raumwirkungsgrad. Beispiel: Ein Raum mit den Abmessungen von 6 m / 6 m / 3 m hat einen Raumindex von 1.

■ Ist der Raum normal hell und mit direkt tiefstrahlenden Leuchten bestückt, hat der Raum einen Raumwirkungsgrad von über 80 %; d. h. 80 % des von der Leuchte abgestrahlten Lichtes wird auf der Nutzebene wirksam (Abbildung 34, links).

■ Ist der Raum dunkel (Sichtbeton oder ähnliche Materialien) und werden indirekt strahlende Leuchten eingesetzt, beträgt

der Raumwirkungsgrad nur 25 % (Abbildung 34, rechts).

In dunklen Räumen sollten direkt strahlende Leuchten eingesetzt werden, damit die Beleuchtung einigermaßen effizient ist. In einem helleren Raum ist die Auswahl möglicher Leuchtentypen grösser. Auch eine Kombination von direkt und indirekt strahlenden Leuchten ermöglicht eine effiziente Beleuchtung. In normal hellen und hellen Räumen kann der Raumwirkungsgrad über 100 % steigen. Ein Perpetuum Mobile für Beleuchtung? Nein, der Raumwirkungsgrad kann in grossen Räumen mit hellen Decken über 100 % steigen, weil nicht die Beleuchtungsstärke an allen raumbegrenzenden Flächen als Beurteilungsgrösse dient, sondern lediglich der horizontale Boden (oder eine Tischfläche). Deckenlicht kann durch Reflexion den Boden unter Umständen so aufhellen, dass die Beleuchtungsstärke auf dem Boden hö-

**Tabelle 13:**  
*Reflexionseigenschaften von Farbanstrichen und Materialien*

**Tabelle 14:**  
*Reflexionsgrade von raumumgebenden Flächen in Abhängigkeit der Raumhelligkeit*

Farbanstrich	Material	Reflexionsgrad
reinweiss	Spiegel, Aluminium hochglänzend	über 80 %
weiss	Gips, Aluminium eloxiert	70 % bis 80 %
hellgelb	Aluminium/Chrom/ Kupfer poliert, Ahorn, Birke	60 % bis 70 %
weiss getönt	Holzfaserplatten crème, Nickel hochpoliert	50 % bis 60 %
hellgrau, rosa, hellgrün, hellblau	Kalkstein, Mörtel hell, Kalkputz, Marmor poliert	40 % bis 50 %
mittelgrau, rosa, hellgrün, hellblau	Eiche hell, Sperrholz roh, Sandstein	30 % bis 40 %
braun	Zement, Beton roh, Granit	20 % bis 30 %
dunkelblau, dunkelgrün, dunkelrot, dunkelgrau	Eiche dunkel poliert, Ziegel rot, dunkler Teppich	10 % bis 20 %
Samt (schwarz)		ca. 1 %

Raumhelligkeit	Decke	Wände	Boden
helle Räume	80 %	50 %	30 %
normale Räume	70 %	50 %	20 %
dunkle Räume	30 %	30 %	10 %

her wird als die Leuchte es bei reinem Direktlicht erreicht. Würde man den gesamten Raum als Bewertungsebene verwenden, könnte der Raumwirkungsgrad selbstverständlich niemals 100 % erreichen.

**Beispielrechnung**

Gemäss der Formel in Abbildung 32 lässt sich die installierte Leistung für einen Raum mit dem Wirkungsgradverfahren berechnen. Für ein Beispiel sei vorausgesetzt, dass alle Parameter in zwei Vergleichsräumen gleich sind, ausser der Raumhelligkeit und der Abstrahlrichtung der eingesetzten Leuchten. Die Raumwirkungsgrade lassen sich in Abbildung 34 ablesen.

**Fazit:** Ein dunkler Raum braucht – bei gleicher Ausrüstung mit denselben effizienten Leuchten – 3-mal mehr Energie als ein normal heller Raum (Tabelle 15).

Sofern der dunkle Raum – statt mit effizienten Leuchten – mit Halogenleuchten bestückt wird, ergibt sich ein extremes, aber durchaus praxisübliches Vergleichsbeispiel (Tabelle 16).

Mit dieser Ausrüstung braucht der dunkle Raum um den Faktor 15 mehr Energie als der normal helle Raum.

**Berechnung der Volllaststunden**

Die Nutzung von Tageslicht hängt von vielen Faktoren ab. Für die Tageslichtberechnung nach SIA 380/4 gilt ein Modell, dass so einfach wie möglich ist, aber dennoch eine vertretbare Genauigkeit für die Prognose der Volllaststunden abgibt. Auf europäischer Ebene wurde mit der Norm EN 15193 (Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung) ein deutlich komplexeres Modell erarbeitet, welches aber den Rahmen eines Beleuchtungsprojektes sprengt. Das SIA-Modell der Tageslichtnutzung basiert auf 9 Einflussfaktoren (Abbildung 35).

Das SIA-Modell der Tageslichtnutzung basiert auf 9 Einflussfaktoren (Abbildung 35).

■ **Glasfläche:** Je grösser die Glasflächen, desto mehr kann Tageslicht eine künstliche Beleuchtung ersetzen. Ein Verhältnis von Glas- zu Bodenfläche von über 35 zu 100 ergibt im Jahresmittel keine weitere Reduktion des Kunstlichtes, weil Wintertage und schlechtes Wetter die Nutzung von Tageslicht begrenzen (Abbildung 36).

■ **Transmissionsgrad des Glases:** Ein typischer Transmissionsgrad von hoch isolierenden Verglasungen liegt bei 70 %. Ein Sonnenschutzglas (z.B. als Storen-Ersatz) weist Werte zwischen 10 % und 60 % auf. Sonnenschutzgläser können die Tageslichtnutzung beschränken, so dass viel häufiger Kunstlicht notwendig wird.

■ **Fenstersturz:** Je tiefer der Fenstersturz, desto geringer ist die Eindringtiefe von Tageslicht in den Raum. Bei hohen Räumen (über 3,5 m) fällt die Sturzhöhe weniger ins Gewicht als bei niedrigen Räumen.

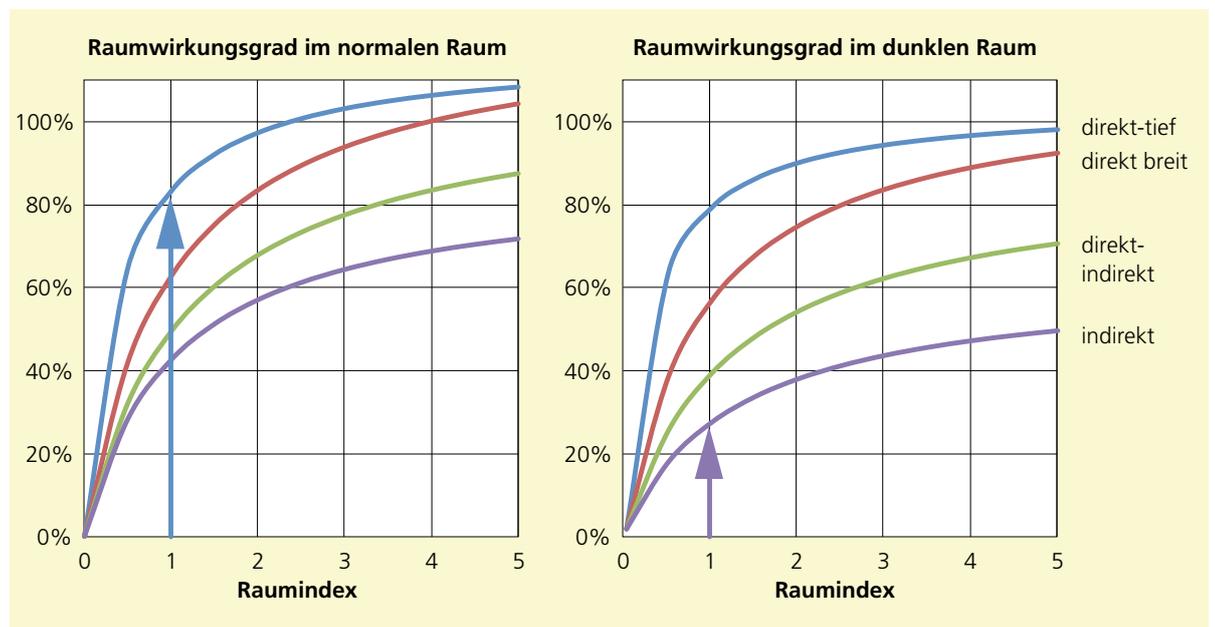


Abbildung 34:  
Raumwirkungsgrade im normalen und im dunklen Raum

	normaler Raum	dunkler Raum
Raumgrösse	6 m x 6 m x 3 m	
Beleuchtungsstärke	500 Lux	
Planungsfaktor	1,25	
Leuchtentyp	direkt tief strahlend	indirekt strahlend
Lampentyp	Leuchtstoffröhre	
Lichtausbeute der Lampe	90 lm/W	
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	80 %	
Raumwirkungsgrad	80 %	25 %
<b>Installierte Leistung</b>	<b>10,9 W/m<sup>2</sup></b>	<b>34,8 W/m<sup>2</sup></b>
Berechnung	$(500 \cdot 1,25) / (90 \cdot 0,8 \cdot 0,8)$	$(500 \cdot 1,25) / (90 \cdot 0,8 \cdot 0,25)$

Tabelle 15:  
Berechnungsbeispiel 1 «Installierte Leistung»

	normaler Raum	dunkler Raum
Raumgrösse	6 m x 6 m x 3 m	
Beleuchtungsstärke	500 Lux	
Planungsfaktor	1,25	
Leuchtentyp	direkt tief strahlend	indirekt strahlend
Lampentyp	Leuchtstoffröhre	Halogenspot
Lichtausbeute der Lampe	90 lm/W	20 lm/W
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	80 %	80 %
Raumwirkungsgrad	80 %	25 %
<b>Installierte Leistung</b>	<b>10,9 W/m<sup>2</sup></b>	<b>156,2 W/m<sup>2</sup></b>
Berechnung	$(500 \cdot 1,25) / (90 \cdot 0,8 \cdot 0,8)$	$(500 \cdot 1,25) / (20 \cdot 0,8 \cdot 0,25)$

Tabelle 16:  
Berechnungsbeispiel 2 «Installierte Leistung»

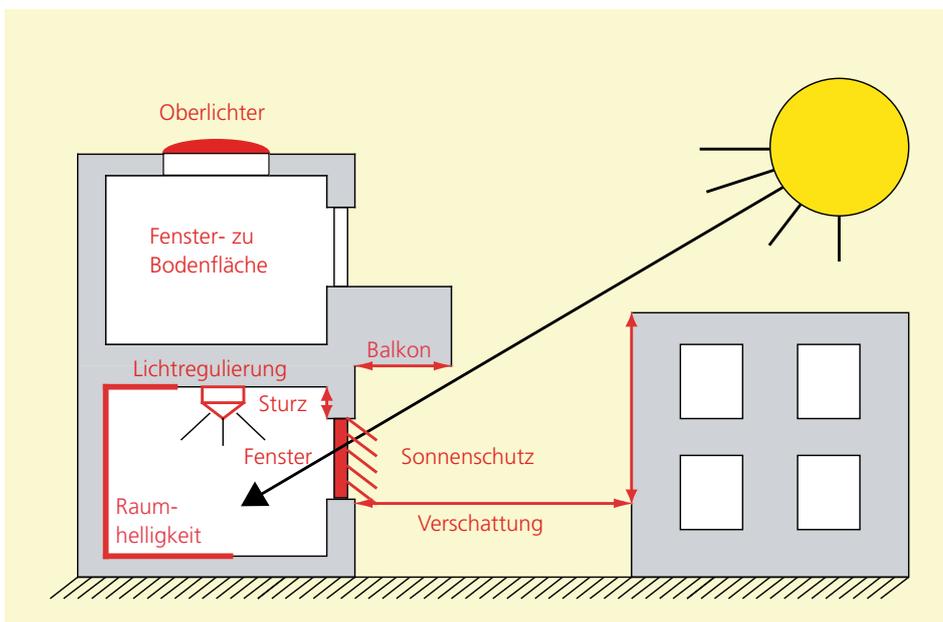


Abbildung 35:  
Einflussfaktoren  
Tageslichtnutzung  
nach SIA 380/4

■ **Oberlichter:** Hochliegende Fenster nutzen das Tageslicht besser als übliche Fenster. Es gibt zahlreiche verschiedene Formen von Oberlichtern (Lichtkuppeln, Sheddächer, etc.). Die Bedeutung von Oberlichter für die Tageslichtnutzung ist schwierig zu quantifizieren; vereinfacht gesagt, kann etwa mit dem doppelten Solargewinn im Vergleich zu seitlichen Fenstern gerechnet werden. Dem Sonnenschutz von Oberlichtern ist besondere Beachtung zu schenken (Blendung, Wärmeeintag).

■ **Raumreflexion:** Eine normale Raumhelligkeit entspricht den Defaultwerten der Reflexionseigenschaften der gängigen Simulationsprogramme. Decke: 70 %, Wände: 50 %, Boden: 20 %. Helle Räume sind – abgesehen von Möblierung und Bodenbelag – ganz in weiss gehalten. Dunkle Räume weisen z. B. Sichtbeton oder dunkle Farbanstriche (rot, blau, schwarz) auf.

■ **Sonnenschutz:** Ein optimaler Sonnenschutz (Qualitätsstufe 1) hält die direkte Sonnenstrahlung ab, mindert die Tageslichtnutzung aber wenig: aussen liegende, helle und bewegliche Lamellen. Innenliegende Stoffmarkisen und Rollos bieten einen suboptimalen Sonnenschutz und be-

einträchtigen die Tageslichtnutzung beträchtlich (Qualitätsstufe 3).

■ **Balkontiefe:** Ein auskragender Balkon hat denselben Effekt wie ein Fenstersturz; er verringert die Eindringtiefe von Tageslicht. Bei Fenstersturz oder Balkon wird im Rechenmodell der jeweils grössere Einflussfaktor eingesetzt.

■ **Verbauungswinkel:** Umliegende Gebäude mit geringem Abstand mindern die Tageslichtnutzung. Der Verbauungswinkel ergibt sich aus dem Gebäudeabstand und der Höhe des benachbarten Gebäudes über dem Standort des Betrachters. Beispiel: Gebäudeabstand 10 m, Gebäudeüberhöhe 6 m, ergibt einen Verbauungswinkel von 30 % und eine Tageslichtminderung von – 20 %.

■ **Lichtregulierung:** Je besser die erwähnten Rahmenbedingungen sind, desto mehr kann eine Lichtregelung herausholen. Die optimale Tageslichtregelung kombiniert den Tagelichtanteil perfekt mit zusätzlichem Kunstlicht, so dass immer gleich viel Licht im Raum vorhanden ist. Die ideale Lichtregulierung gibt es nicht, denn Sensoren reagieren mit Verzögerung, sind oft ungünstig platziert oder nicht optimal

**Volllaststunden pro Tag**

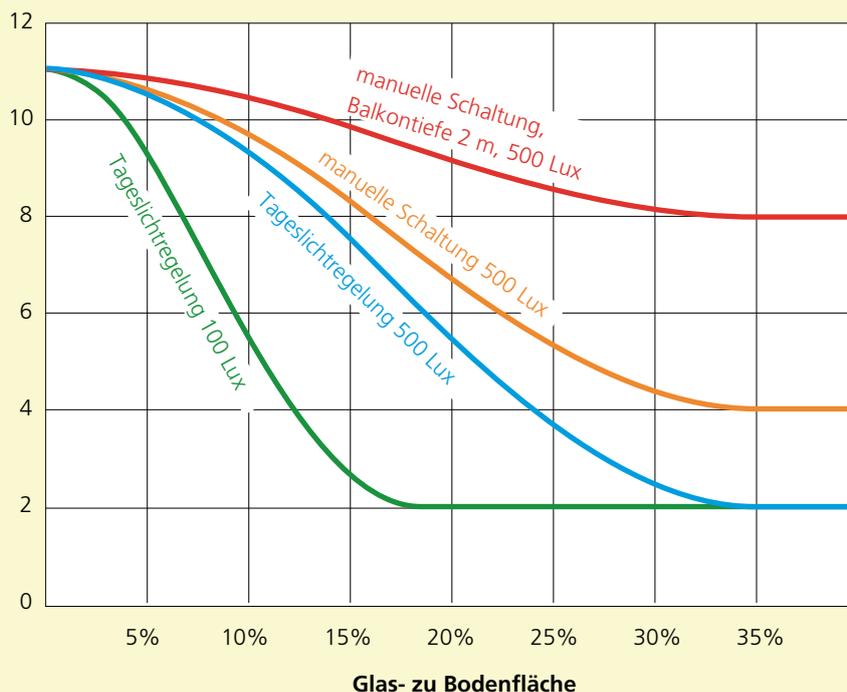


Abbildung 36:  
Volllaststunden einer Beleuchtung pro Tag in Abhängigkeit des Verhältnisses von Glas- zu Bodenfläche (4 Beispiele)

eingestellt. Zudem haben auch Lichtregelungen einen Eigenstromverbrauch. Das Rechenmodell von SIA 380/4 berücksichtigt die – auch bei bester Planung und Ausführung – nicht ideale Abbildung zwischen effektiv vorhandenem Tageslicht und Kunstlichtbeimischung; Nach SIA 380/4 ergibt sich also stets eine geringere, aber meist praxisnahe Tageslichtnutzung als bei komplexen Tageslichtsimulationsprogrammen.

### **Berechnung des Energiebedarfs und Energiebilanz**

Für jede Leuchte im Gebäude wird der Energiebedarf als Produkt von installierter Leistung und Volllaststundenzahl gerechnet. Damit die Übersicht gewahrt bleibt, werden die Energieverbrauchswerte der Leuchten nach Leuchtentypen, Räumen und Raumnutzungen differenziert und auf das Gesamtgebäude hochgerechnet. Den Nutzungen verschiedene Farben zuzuordnen, erweist sich als hilfreich (Abbildung 37). Die Differenzierung von Räumen nach Nutzungen kann relativ roszügig gehandhabt werden; in der Regel reichen drei bis sechs verschiedene Nutzungen je Gebäude aus.

Die Energiebilanz nach SIA 380/4 (standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs) umfasst Leistungen, Volllaststunden und Energiebedarfswerte einzelner Raumgruppen, nach Nutzungen geordnet. Leuchten- und Raumwerte werden nicht dargestellt (Tabelle 17).

### **Bewertung des Energiebedarfs**

Die berechneten Energiebedarfswerte (Tabelle 17) der einzelnen Raumnutzungen (Projektwerte) werden auf flächenspezifische Werte umgerechnet und den Anforderungen gegenübergestellt. Die Anforderungen nach SIA 380/4 sind als Grenz- und Zielwerte definiert; diese werden nicht für ein ganzes Gebäude, sondern für die einzelnen Nutzungen im Gebäude angegeben (Tabelle 18). Aus den Anforderungswerten der einzelnen Nutzungen wird, über die Flächen gewichtet, die Anforderung für das Gesamtgebäude hochgerechnet. Auch die Anforderungswerte für die

Nutzungen sind von der jeweiligen Raumgröße und den Möglichkeiten der Tageslichtnutzung bestimmt. Im Prinzip lassen sich die Grenz- und Zielwerte berechnen, indem das reale Gebäude mit Ziel- respektive Grenzwert kompatiblen Komponenten ausgestattet wird. Um Rechenaufwand zu sparen, erfolgt die Berechnung anhand von repräsentativen Räumen, die stellvertretend für alle anderen Räume derselben Nutzung stehen. Um den Rechenaufwand zu mindern, empfiehlt sich der Einsatz eines Rechenprogrammes.

**Beispiel:** Der flächengewichtete Projektwert in Tabelle 18 wird wie folgt berechnet:

Projektwert =  $(15 \cdot 500 + 20 \cdot 1000 + 15 \cdot 500 + 5 \cdot 500 + 2 \cdot 500) / 3000 \text{ m}^2 = 13 \text{ kWh/m}^2$ . Analog werden Grenz- und Zielwerte für das Gesamtgebäude berechnet. Bewertet wird schliesslich der Projektwert des Gesamtgebäudes; im Beispiel liegt dieser mit  $13 \text{ kWh/m}^2$  zwischen dem Zielwert von  $9 \text{ kWh/m}^2$  und dem Grenzwert von  $20 \text{ kWh/m}^2$ .

### **Standardnutzungen**

Damit die berechneten Projektwerte mit den Anforderungen (Grenz- und Zielwerte) vergleichbar sind, gelten Standardnutzungen für 45 verschiedene Raumnutzungen (Tabelle 19 bis Tabelle 21).

### **Grenz- und Zielwerte SIA 380/4**

Für jede Standardnutzung wird ein Grenz- und ein Zielwert berechnet, der sich aus der Multiplikation einer installierten Leistung und einer Volllaststundenzahl ergibt. Für die installierten Leistungen gelten die Standardwerte gemäss Tabelle 19, für Volllaststunden diejenigen aus Tabelle 20 ab. Da gewisse Rahmenbedingungen von Gebäude zu Gebäude differieren (z. B. Glasfläche oder Raumgrössen), kommen in einem beliebigen Gebäude jeweils von Tabelle 21 abweichende Grenz- und Zielwerte zustande.

Abbildung 37:  
Ein typisches Stockwerk eines Gebäudes, nach Nutzungen differenziert

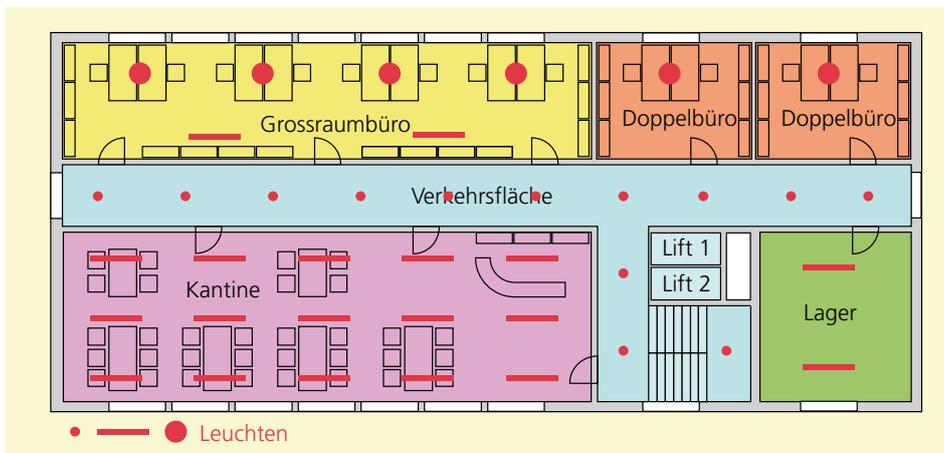


Tabelle 17:  
Energiebilanz nach  
SIA 380/4 (Projekt-  
werte)

Raumgruppe	Nettofläche (m <sup>2</sup> )	Nutzung	installierte Leistung (kW)	Volllaststunden (h/a)	Energiebedarf (MWh/a)
Doppelbüro 1.-4. OG	500	Gruppenbüro	10	750	7,5
Grossraumbüros	1000	Grossraumbüro	16	1250	20,0
Personalkantine 4.OG	500	Kantine	7,5	1000	7,5
Korridore UG, EG, OG	500	Verkehrsfläche	2,5	1000	2,5
Lager, Technik	500	Nebenräume	2,0	500	1,0
<b>Gesamtgebäude</b>	<b>3000</b>		<b>38,0</b>	<b>1013</b>	<b>38,5</b>

Tabelle 18:  
Energiebilanz und  
Vergleich der Projektwerte mit  
Grenz- und Zielwerten

Raumgruppe	Nettofläche (m <sup>2</sup> )	Nutzung	Projektwert (kWh/m <sup>2</sup> )	Grenzwert (kWh/m <sup>2</sup> )	Zielwert (kWh/m <sup>2</sup> )
Doppelbüro 1.-4. OG	500	Gruppenbüro	15	27	9
Grossraumbüros	1000	Grossraumbüro	20	31	16
Personalkantine 4.OG	500	Kantine	15	11	6
Korridore UG, EG, OG	500	Verkehrsfläche	5	15	3
Lager, Technik	500	Nebenräume	2	6	2
<b>Gesamtgebäude</b>	<b>3000</b>		<b>13</b>	<b>20</b>	<b>9</b>

Standardnutzung	Raummasse			Höhe der Nutzebene (m)	Beleuchtungsstärke (lx)	Akzentbeleuchtung
	Länge (m)	Tiefe (m)	Höhe (m)			
Hotelzimmer	4	4	2,5	0,75	50	
Hotel-Empfang/Lobby	12	12	4	0,75	100	
Einzel- und Gruppenbüro	6	6	3	0,75	500	
Grossraumbüro	12	12	3	0,75	500	
Sitzungszimmer	6	6	3	0,75	500	
Schalterhalle/Empfang	12	12	4	0,05	200	
Schulzimmer	10	7	3	0,75	500	
Lehrerzimmer/Aufenthalt	6	6	3	0,75	300	
Bibliothek (Lesebereich)	12	12	3	0,75	500	
Bibliothek (Regalbereich)	12	1,5	3	0,75	200	
Hörsaal	12	12	3	0,75	500	
Spezial Schulraum	10	7	3	0,75	500	
Verkauf Möbel	20	20	4	0,05	300	ja
Verkauf Lebensmittel	20	20	4	0,05	300	ja
Verkauf Bau+Garten	20	20	4	0,05	300	ja
Supermarkt (Food/Nonfood)	20	20	4	0,05	300	ja
Fachmarkt / Warenhaus	20	20	4	0,05	300	ja
Bijouterie	6	6	3	0,05	300	ja
Restaurant	12	12	3	0,75	200	
Selbstbedienungsrestaurant	20	20	3	0,75	200	
Küche zu Restaurant	6	6	3	0,75	500	
Küche Selbstbedienungsrestaurant	12	12	3	0,75	500	
Vorstellungsraum	20	20	7	0,75	300	
Mehrzweckhalle	20	20	7	0,75	300	
Ausstellungshalle	20	20	7	0,75	300	
Bettzimmer	6	6	2,5	0,05	100	
Stationszimmer	4	4	3	0,05	300	
Behandlungsraum	6	6	3	0,05	500	
Produktion (grobe Arbeit)	20	20	7	0,75	300	
Produktion (feine Arbeit)	20	20	7	0,75	500	
Lagerhalle, Spedition	20	20	7	0,05	300	
Turnhalle (Schulsport)	24	12	7	0,05	300	
Turnhalle (Wettkampf)	24	12	7	0,05	500	
Fitnessraum	12	12	3	0,05	300	
Schwimmhalle	20	20	7	0,05	300	
Verkehrsfläche	10	2	2,5	0,05	100	
Verkehrsfläche Spital	10	2	2,5	0,05	200	
Nebenräume, Lager/Technik	4	4	2,5	0,05	100	
Badezimmer (Wohnen)	4	4	2,5	0,05	200	
WC	2	2	2,5	0,05	200	
Dusche/Garderoben	6	6	3	0,05	200	
Parkhaus (öffentlich)	20	20	3	0,05	75	
Parkhaus (privat)	20	20	3	0,05	75	
Wasch- und Trockenraum	6	6	3	0,05	300	
Kühlraum	6	6	3	0,05	100	

*Tabelle 19: Standardvorgaben SIA 380/4 zur Ermittlung von installierten Leistungen. Für die Raummasse sind typische Werte angenommen; wenn möglich sollten im Projekt die effektiven Masse eines jeweils typischen Raumes verwendet werden.*

Standardnutzung	Tagesstunden (h)	Nachtstunden (h)	Tage pro Jahr (d)	Stunden pro Jahr (h)	Glas- zu Bodenfläche (%)	Art der Nutzung
Hotelzimmer	1	3	365	1460	19 %	SN
Hotel-Empfang/Lobby	11	5	365	5840	17 %	SN
Einzel- und Gruppenbüro	11		261	2871	25 %	NP
Grossraumbüro	11		261	2871	13 %	NP
Sitzungszimmer	6		261	1566	25 %	NP
Schalterhalle/Empfang	11		261	2871	17 %	SN
Schulzimmer	10		261	2610	21 %	NP
Lehrerzimmer/Aufenthalt	11		261	2871	25 %	NP
Bibliothek (Lesebereich)	11		261	2871	13 %	NP
Bibliothek (Regalbereich)	10		261	2610	0 %	NP
Hörsaal	10		261	2610	13 %	NP
Spezial Schulraum	10		261	2610	21 %	NP
Verkauf Möbel	11	1	313	3756	10 %	SN
Verkauf Lebensmittel	11	1	313	3756	10 %	SN
Verkauf Bau+Garten	11	1	313	3756	10 %	SN
Supermarkt (Food/Nonfood)	11	1	313	3756	10 %	SN
Fachmarkt / Warenhaus	11	1	313	3756	10 %	SN
Bijouterie	11	1	313	3756	25 %	SN
Restaurant	6	4	313	3130	13 %	NP
Selbstbedienungsrestaurant	7		313	2191	8 %	NP
Küche zu Restaurant	7	4	313	3443	25 %	SN
Küche Selbstbedienungsrestaurant	9		313	2817	13 %	SN
Vorstellungsraum	6	4	313	3130	0 %	SN
Mehrzweckhalle	11	4	313	4695	18 %	SN
Ausstellungshalle	11	4	313	4695	11 %	SN
Bettzimmer	11	5	365	5840	21 %	SN
Stationszimmer	11	5	365	5840	38 %	SN
Behandlungsraum	11		261	2871	25 %	SN
Produktion (grobe Arbeit)	11	5	261	4176	18 %	NP
Produktion (feine Arbeit)	11	5	261	4176	18 %	NP
Lagerhalle, Spedition	11	5	261	4176	11 %	NP
Turnhalle (Schulsport)	10	4	261	3654	29 %	NP
Turnhalle (Wettkampf)	10	4	261	3654	29 %	NP
Fitnessraum	10	4	313	4382	13 %	NP
Schwimmhalle	10	4	313	4382	18 %	NP
Verkehrsfläche	11		261	2871	13 %	SP
Verkehrsfläche Spital	11	5	365	5840	13 %	SN
Nebenräume, Lager/Technik	4		261	1044	6 %	SP
Badezimmer (Wohnen)	11		261	2871	6 %	SP
WC	11		261	2871	13 %	SP
Dusche/Garderoben	10	4	261	3654	5 %	SP
Parkhaus (öffentlich)	11	4	365	5475	2 %	SP
Parkhaus (privat)	11		261	2871	8 %	SP
Wasch- und Trockenraum	7	3	365	3650	5 %	SP
Kühlraum	1		365	365	0 %	SP

*Tabelle 20: Standardvorgaben SIA 380/4 zur Ermittlung von Volllaststunden. Bei den Standardnutzungen zur Berechnung der Volllaststunden werden typische Werte für das Verhältnis von Glas- zu Bodenfläche angenommen; wenn möglich sollten im Projekt die effektiven Werte eines jeweils typischen Raumes verwendet werden.*

*NP: normale Nutzung, SN: sensible Nutzung, SP: sporadische Nutzung*

Standardnutzung	Grenzwert SIA 380/4			Zielwert SIA 380/4		
	installierte Leistung (W/m <sup>2</sup> )	Volllaststunden (h/a)	Elektrizitätsbedarf (kWh/m <sup>2</sup> )	installierte Leistung (W/m <sup>2</sup> )	Volllaststunden (h/a)	Elektrizitätsbedarf (kWh/m <sup>2</sup> )
Hotelzimmer	3,0	1350	4	2,0	1200	2
Hotel-Empfang/Lobby	4,5	3600	16	3,0	2550	8
Einzel- und Gruppenbüro	16,0	1700	27	11,5	800	9
Grossraumbüro	12,5	2450	31	9,0	1800	16
Sitzungszimmer	16,0	900	14	11,5	450	5
Schalterhalle/Empfang	8,5	1500	13	5,5	850	5
Schulzimmer	14,0	1700	24	10,5	950	10
Lehrerzimmer/Aufenthalt	11,5	1400	16	8,0	500	4
Bibliothek (Lesebereich)	12,5	2450	31	9,0	1800	16
Bibliothek (Regalbereich)	13,5	2600	35	9,0	2100	19
Hörsaal	12,5	2250	28	9,0	1600	14
Spezial Schulraum	14,0	1700	24	10,5	950	10
Verkauf: Möbel	15,5	3150	49	9,5	2850	27
Verkauf Lebensmittel	21,5	3150	68	12,5	2850	36
Verkauf Bau+Garten	21,5	3150	68	12,5	2850	36
Supermarkt (Food/Nonfood)	27,5	3150	87	15,5	2850	44
Fachmarkt / Warenhaus	33,5	3150	106	18,5	2850	53
Bijouterie	43,0	2000	86	24,0	1050	25
Restaurant	7,0	2550	18	4,5	1750	8
Selbstbedienungsrestaurant	6,0	1900	11	4,0	1400	6
Küche zu Restaurant	16,0	2550	41	11,5	2050	24
Küche SB-Restaurant	12,5	2400	30	9,0	2200	20
Vorstellungsraum	11,0	3150	35	7,5	3150	24
Mehrzweckhalle	11,0	3250	36	7,5	2600	20
Ausstellungshalle	11,0	4050	45	7,5	3700	28
Bettzimmer	5,0	4700	24	3,5	3000	11
Stationszimmer	16,5	3800	63	11,5	2650	30
Behandlungsraum	18,0	1700	31	13,0	1000	13
Produktion (grobe Arbeit)	11,0	2950	32	7,5	1950	15
Produktion (feine Arbeit)	14,5	3350	49	11,0	2400	26
Lagerhalle, Spedition	11,5	3600	41	8,0	2700	22
Turnhalle (Schulsport)	12,5	2200	28	8,5	1200	10
Turnhalle (Wettkampf)	17,0	2300	39	12,5	1350	17
Fitnessraum	10,0	3650	37	7,0	2600	18
Schwimmhalle	11,5	3050	35	8,0	1950	16
Verkehrsfläche	7,0	2200	15	4,5	750	3
Verkehrsfläche Spital	12,5	5150	64	8,5	4100	35
Nebenräume, Lager/Technik	6,5	950	6	4,0	500	2
Badezimmer (Wohnen)	11,0	2700	30	7,5	1500	11
WC	15,0	2350	35	10,0	1000	10
Dusche/Garderoben	10,0	3500	35	6,5	2050	13
Parkhaus (öffentlich)	3,0	5450	16	2,0	3250	7
Parkhaus (privat)	3,0	2300	7	2,0	1200	2
Wasch- und Trockenraum	13,0	3550	46	9,0	2100	19
Kühlraum	5,5	350	2	3,5	200	1

**Tabelle 21: Grenzwerte und Zielwerte nach Standardnutzungen, geordnet nach SIA 380/4**

## 2.4 Euronorm EN 12464

### Basisnorm SN EN 12464

Während SIA 380/4 die energetischen Anforderungen beschreibt und bewertet, ist die EN 12464 für die lichttechnischen Aspekte zuständig. Die SN EN 12464-1 «Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen», bildet die Haupt- und Basisnorm für Lichtenwendungen (SN = Schweizer Norm, EN = Europäische Norm). Die Norm umschreibt im Wesentlichen die Kriterien der Beleuchtungsplanung anhand des Sehkomforts, der Sehleistung und der Sicherheit. Beleuchtungsstärken, Gleichmässigkeiten, Unterscheidung von

unmittelbarer Sehaufgabe und Umgebung, Leuchtdichte und Kontrastverhältnisse, etc., werden umschrieben. Ein zentrales Thema bildet die Blendung und der Beschrieb, wie physiologische und psychologische Blendung vermieden werden kann. Hinweise auf die besondere Sorgfalt zur Vermeidung von Blendung bei einer Blickrichtung oberhalb der Horizontalen können aus dem sogenannten Söllner-Diagramm (Abbildung 39) abgelesen werden. Es zeigt die Beurteilung einer Leuchte, unabhängig davon, wie sie positioniert ist. In der DIN 5031-1 «Beleuchtung mit künstlichem Licht» werden Grenzkriterien dafür definiert.

EUROPÄISCHE NORM  
EUROPEAN STANDARD  
NORME EUROPÉENNE

**EN 12464-1**

September 2009

ICS 91.160.10

Vorgesehen als Ersatz für EN 12464-1:2002

Deutsche Fassung

Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1:  
Arbeitsstätten in Innenräumen

Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor  
work places

Lumière et éclairage - Eclairage des lieux de travail - Partie  
1 : Lieux de travail intérieurs

Abbildung 38:  
Titelbild zur EN  
12464

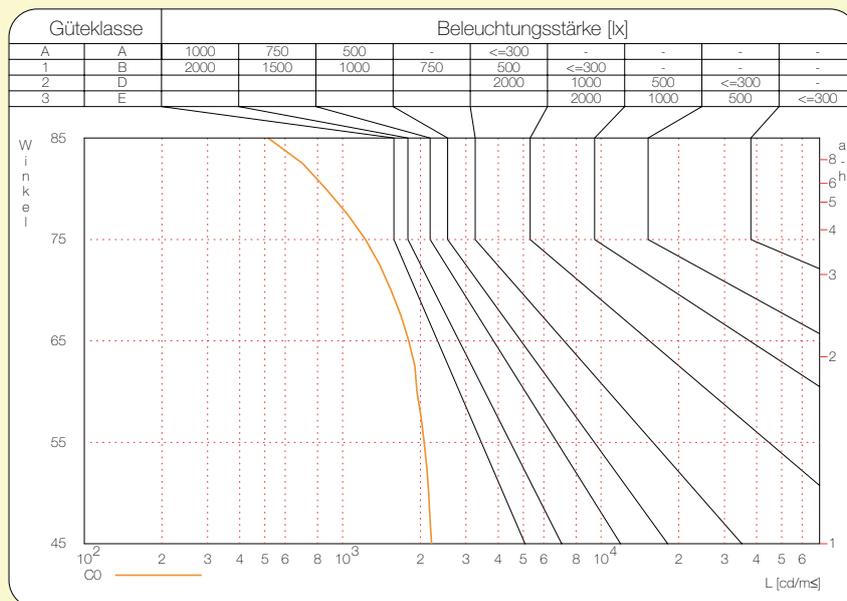


Abbildung 39:  
Grenzkurvenverfahren  
nach Söllner  
(Söllner-Diagramm)

Nutzungen	Beleuchtungsstärke (Lux)
Operationssaal	1000
Büro, Sitzungszimmer, Schulzimmer, Hörsaal, Turnhalle (Wettkampf), Küche, Behandlungszimmer, Werkstatt (feine Arbeit)	500
Lehrerzimmer, Verkauf (ohne Akzentbeleuchtung), Mehrzweckhalle, Stationszimmer, Werkstatt (grobe Arbeit), Turnhalle (Schulbetrieb)	300
Schalterhalle, Bibliothek, Restaurant, Kantine, Treppenhäuser, Korridore (Spital), WC, Garderoben	200
Bettzimmer (ohne Untersuchung), Korridore, Nebenräume	100
Parkhaus	75
Wohnen, Hotelzimmer	50

Nutzungen	UGR
Sehr feine Arbeiten	unter 16
Büro, Schulzimmer, Bettzimmer	unter 19
Verkauf, Restaurant, Turnhalle	unter 22
Verkehrsfläche, WC, Parkhaus, Nebenräume	unter 25
Aussenbereich	über 25

UGR-Grenzwert	Güteklasse LiTG/CIE DIN 5035-1	Urteil	zugehörige Art der Arbeit
16	A/A	Blendung zwischen nicht vorhanden und merkbar	sehr anspruchsvolle Sehaufgabe
19	1/B		Aufgabe mit hohem visuellem Anspruch
22	2/C	Blendung merkbar	Aufgabe mit mittlerem visuellem Anspruch
25	3/D		Aufgabe mit niedrigem visuellem Anspruch
28	-/E	Blendung zwischen merkbar und störend	nicht ständig besetzte Arbeitsplätze für Aufgaben mit niedrigem visuellem Anspruch

In der Normierung hat das UGR-Verfahren die Methode nach Söllner abgelöst. Das «Unified Glare Rating (UGR)» ist ein von der Internationalen Beleuchtungskommission CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) entwickelter Index zur weltweit vereinheitlichten Bewertung der Blendung. Bei dieser Methode werden Leuchten und Raum in Kombination beurteilt und festgehalten, ob und wie viel Blendung vorhanden ist. Und zwar in Abhängigkeit des Standortes des Beobachters. Selbst eine Leuchte, die nach Söllner-Grenzkurvenverfahren blenden würde, kann, richtig im Raum angeordnet, für einen Betrachter blendfrei sein.

Das Grenzkurvenverfahren wurde durch das System des Raumes eingeschränkt. Aber auch das UGR-Verfahren unterliegt Einschränkungen in der Gültigkeit. Diese Grenzen des UGR-Verfahrens sind insbesondere zu beachten bei:

- Leuchten mit hohem Indirektanteil (Indirektanteil über 65 %)

- Grosse Lichtquellen und leuchtende Decken (Raumwinkel über 0,1 sr). Dabei steht sr für Steradian.

Dies ist vor allem dadurch begründet, dass die Leuchtdichte der Blendquelle den Adaptationszustand des Auges umso stärker beeinflusst, je grösser die Abmessungen der Blendquelle sind. Dadurch nimmt der Einfluss der Hintergrundleuchtdichte, die eine wesentliche Grösse in der UGR-Formel darstellt, auf die Blendwirkung ab.

Da mit der oberen Grenze für den Geltungsbereich des UGR-Verfahrens von 0,1 sr und damit der unteren Grenze für die Behandlung grosser Lichtquellen keine Vorstellung einer realen Leuchtengrösse verbunden ist, schlägt das CIE-Komitee 3.01 «Glare from small and large sources» vor, grosse Leuchten durch eine Ausdehnung von über 1,5 m<sup>2</sup> zu definieren. Alternativ wird als untere Grenze für grosse Lichtquellen eine Belegung der Decke mit Leuchten (Ceiling Coverage «CC») von CC über 0,15 vorgeschlagen. CC entspricht dem Anteil der leuchtenden Leuchtenfläche an der gesamten Deckenfläche. Da somit die Blendwirkung grosser Lichtquel-

**Tabelle 22:**  
Beleuchtungsstärken nach Norm SN EN 12464

**Tabelle 23:**  
Empfohlene Blendziffern nach Norm SN EN 12464 (UGR-Werte)

**Tabelle 24:**  
Die Festlegung der visuellen Blendbegrenzung basiert auf statistischer 2/3-Mehrheit von zufriedenen Probanden.  
LiTG = Lichttechnische Gesellschaft  
CIE = Commission Internationale de l'Éclairage  
DIN = Deutsches Institut für Normung

len nur noch in geringem Masse von ihrem Positionswinkel, vom Raumwinkel oder von ihrer Hintergrundleuchtdichte abhängen, ist es gerechtfertigt, die Blendung für grosse Lichtquellen in erster Näherung durch ihre Leuchtdichte zu beschreiben und durch die Festlegung eines maximal zulässigen Wertes zu begrenzen. In DIN 5035 wurde ein Grenzwert von 500 cd/m<sup>2</sup> empfohlen. Für Bildschirmarbeitsplätze mit entsprechenden Bildschirmen geht die neue SN EN 12464-1 bis auf eine Leuchtdichte von 3000 cd/m<sup>2</sup> für Leuchten im Raum.

■ Sehr kleine Lichtquellen (Raumwinkel unter 0,0003 sr)

Gemäss Riccoschem Gesetz wird bei Unterschreiten der Abbildung der Lichtquelle unter eine bestimmte Grösse die Hellempfindung nicht mehr durch die Leuchtdichte, sondern direkt durch die auf der Pupillenebene erzeugte Beleuchtungsstärke bestimmt.

Diese Blendwirkung kann sowohl in niedrigen wie auch in hohen Räumen vorkommen. In niedrigen Räumen können die flachen Beobachtungswinkel dazu führen, in hohen Räumen die direkte Einsicht in Leuchtmittel mit hohen Lichtströmen.

Blendung und damit Störungen im Sehprozess können als psychologische Blendung wie auch als physiologische Blendung in Form von Schleierreflexion oder Reflexblendung vorkommen. Die psychologische Blendung ist dabei eine subjektiv empfundene Beeinträchtigung, ohne dass sich messbare Kontraststörungen zeigen

müssen. Generell muss dem Kapitel der Blendung und Blendbegrenzung höchste Achtsamkeit geschenkt werden. Vielfach wird genau an dieser Stelle aus Unwissenheit und mit Fokus auf Kosten die eigentliche Lichtqualität vernachlässigt.

### Beleuchtung im Innenraum

■ **Zylindrische Beleuchtungsstärke:** vertikale Beleuchtungsstärke als Grundlage für visuelle Kommunikation und Erkennbarkeit.

■ **Modelling:** Faktor für Ausgewogenheit zwischen diffusem und gerichtetem Licht.

■ **Lichtfarbe:** Ist normalerweise abhängig von Stimmung und Kultur, kann sich aber auch zeitlich ändern und für bestimmte Aufgaben wichtig sein. Dieser Aspekt ist subjektiv. Ein interessanter Aspekt ist die Steuerung und damit verbunden die Tiefenschärfe des Auges, welche besser funktioniert im Blaubereich über 5300 K als im warmweissen Bereich unter 3300 K. Letztlich kann die Lichtfarbe auch auf Körperfarben abgestimmt werden, um zum Beispiel einer Holzoberfläche den typischen Holzcharakter abzugewinnen.

■ **Farbwiedergabe:** Für die Zuordnung von Materialien, zur Entdeckung von Hautpigmenten oder auch zur qualitativen Beurteilung von Produkten kann die Farbwiedergabe wesentlich sein. Ebenso beeinflusst sie die Sehleistung und die Empfindung. Deshalb soll Licht vollwertig sein, möglichst das gesamte Spektrum abbilden und nicht nur einzelne ausgewählte Farben gut wiedergeben.

EUROPÄISCHE NORM  
EUROPEAN STANDARD  
NORME EUROPÉENNE

EN 15193

September 2007

ICS 91.140.99; 91.160.10

Deutsche Fassung

Energetische Bewertung von Gebäuden - Energetische  
Anforderungen an die Beleuchtung

Energy performance of buildings - Energy requirements for  
lighting

Performance énergétique des bâtiments - Exigences  
énergétiques pour l'éclairage

Abbildung 40:  
Europäische Norm  
zur Bewertung von  
Gebäuden (2007)

■ **Flimmern und stroboskopische Effekte:** sind heute aufgrund der eingesetzten Vorschaltgeräte weitgehend eliminiert. Im industriellen Umfeld von Materialkontrollen und Qualitätsbeurteilungen sind die Frequenzen jedoch präzise abzuklären, da sie gerade im hochfrequenten Bereich auch Gefahrenquellen bilden. Im Tunnel sind die kritischen Flimmerfrequenzen als Flicker bekannt. Sie sind durch Gruppenbildung bei den Leuchten und durch Schutzmassnahmen bei den Galerien in der Wirkung zu mindern. Die kritischen Frequenzen liegen zwischen 4 Hz und 15 Hz.

■ **Wartungsfaktor:** Der früher genannte Planungsfaktor wurde durch Neudefinition in der Beleuchtungsnorm durch den Wartungsfaktor abgelöst. Er ist weit umfassender, da verschiedene Parameter wie Lampenlichtstrom-, Leuchten-, Lampenlebensdauer- und Raumboflächen-Wartungsfaktor zusammen einen Wartungsfaktor definieren. Damit ist auch die Philosophie, dass Licht nicht mehr nur das Resultat einer Lampe ist, sondern vielmehr ein gesamtes System beschreibt, welches räumlich über die Oberflächen und die eingesetzten Leuchten eine Wirkung erzielt, präziser definiert. Der Wartungsfaktor von 0,8 kann bei Minergie-Anforderungen eingesetzt werden, wenn davon ausgegangen werden kann, dass diese Räume mindestens jährlich gereinigt werden.

Der Planer hat demzufolge den Wartungsfaktor und entsprechende Annahmen anzugeben, die Beleuchtungseinrichtung entsprechend der Sehaufgabe festzulegen und einen nachvollziehbaren umfassenden Wartungsplan zu erstellen.

■ **Energieeffizienzanforderungen:** Aufgrund der energiepolitischen Diskussion um die Zukunft der Energieerzeugung sind Effizienzanforderungen und Einsparungen hochaktuell. Die europäische Norm SN EN 15193 zur Bewertung der energetischen Anforderung an die Beleuchtung in Gebäuden ist zwar sehr umfassend und lässt auch verschiedene Berechnungsverfahren zu (einfache Berechnungsmethode, aufwändige Berechnungsmethode und Messung), aber da Vergleiche nicht üblich sind (Benchmarking), ist die Akzeptanz bislang in der

Schweiz eher gering. Dazu kommt, dass die Minergie-Anforderung nach SIA 380/4 validiert ist und sich vergleichen lässt.

Ein wichtiger Hinweis macht die Norm hinsichtlich der Tageslichtnutzung. Das Tageslicht erfährt in jüngster Zeit eine wahre Renaissance. Diese Gratisquelle an bester Lichtqualität birgt ein Sparpotenzial sondergleichen.

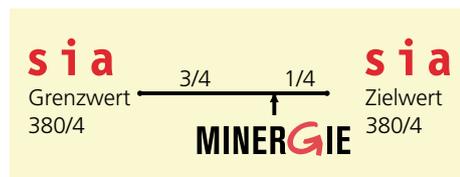
## 2.5 Minergie-Standard

Minergie definiert sich selber als freiwilligen Baustandard, der den rationellen Energieeinsatz und die breite Nutzung erneuerbarer Energien bei gleichzeitiger Verbesserung der Lebensqualität, Sicherung der Konkurrenzfähigkeit und Senkung der Umweltbelastung ermöglicht. Die Erfüllung dieses Ziels ist in der Praxis nicht immer einfach. Es gibt, vor allem im Bereich der Beleuchtung von Zweckbauten, immer mehr Minergie-Objekte, bei denen entweder der Komfort oder die Energieeffizienz leidet und welche die Anforderungen bei genauer Betrachtung leider nicht erfüllen. Hier wird die Trägerschaft von Minergie in den nächsten Jahren stark gefordert sein, einen Zerfall des Labels durch zunehmende Unterhöhnung und Missbrauch zu stoppen.

### Zahlenspiegel (2011)

- 20000 zertifizierte Gebäude – Wohnbauten: 90 %, Zweckbauten: 10 %
- Gesamtfläche: 20 Mio. m<sup>2</sup> – Wohnbauten: 55 %, Zweckbauten: 45 %
- Bauten mit Minergie-Beleuchtung: 2 000 Zweckbauten mit 9 Mio. m<sup>2</sup> Fläche.
- 4 Gebäudestandards (untereinander kombinierbar): Minergie, Minergie-P, Minergie-Eco, Minergie-A

Abbildung 41:  
Definition der  
Minergie-Anforderung  
Beleuchtung  
zwischen Grenz-  
und Zielwert



■ 8 Minergiemodule: Fenster, Holzfeuerstätten, Komfortlüftung, Leuchten, Sonnenschutz, Thermische Solaranlagen, Türen, Wand- und Dachkonstruktionen

■ Minergie-Werte (kWh/m<sup>2</sup>) ergeben sich rechnerisch aus Grenz- und Zielwerten von SIA 380/4. Sie gelten nur für ein ganzes Gebäude.

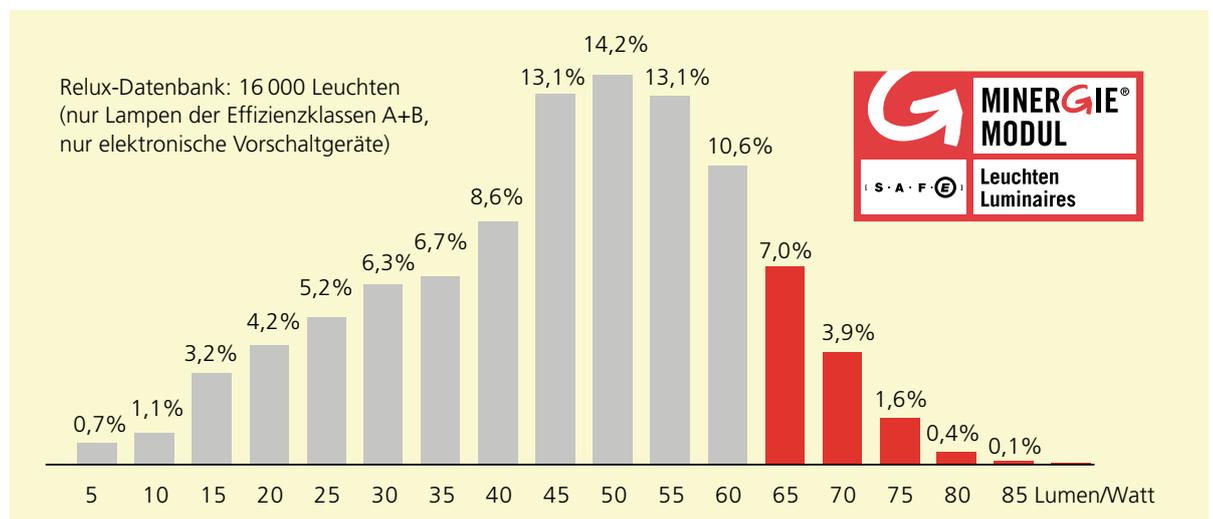
### Minergie-Beleuchtung

Die Minergie-Beleuchtung unterscheidet zwei Standards, den Gebäudestandard und das Leuchtenlabel (Modul). Der Gebäudestandard leitet sich aus der Systemanforderung nach SIA-Norm 380/4 ab. Alle Bauten (ausser Wohnbauten) müssen auch die Zusatzanforderung an die Beleuchtung erfüllen. Das gilt gleichermaßen für alle Gebäudestandards Minergie, Minergie-P, Minergie-Eco und Minergie-A. Die Anforderung für die Minergie-Beleuchtung liegt zwischen dem Grenz- und dem Zielwert und wird nach folgender Formel berechnet:

Minergie = Zielwert + (Grenzwert – Zielwert) / 4 (Abbildung 41).

Das Leuchtenlabel basiert ebenfalls auf der SIA-Norm 380/4 und zwar auf den Einzelanforderungen. Auch hier liegen die Anforderungen zwischen Grenz- und Zielwert. Minergie-Leuchten erleichtern die Planung einer Minergie-Beleuchtung, sind aber keine Bedingung zur Erlangung des Gebäudelabels. Minergie-Leuchten sind ohne sorgfältige Planung keine Garantie für eine gute Beleuchtung (Abbildung 42).

Abbildung 42:  
Auswertung der  
Relux-Datenbank  
nach Leuchten-  
Effizienz-Faktoren



### Berechnungssoftware ReluxEnergyCH

Eine Minergie-Beleuchtung ist von Hand kaum zu rechnen; als Rechenhilfe dient eine Software. Der Nachweis mit dem EDV-Tool Relux erfolgt in sechs Schritten:

#### ■ 1. Schritt: Angaben zum Gebäude.

Beteiligte Personen, Fläche, Neu- oder Umbau, Projektstand, Anforderungsniveau (SIA-Grenzwert, SIA-Zielwert, Minergie)

#### ■ 2. Schritt: Definition typischer Räume.

Raumgrößen, Zuordnung zu Standardnutzungen, Definition von Spezialnutzungen, Tageslichtnutzung, Lichtregulierung

#### ■ 3. Schritt: Erfassung der eingesetzten Leuchten.

Auflistung aller Leuchten und Eingabe der spezifischen Kennwerte

#### ■ 4. Schritt: Raumbuch. Erfassung aller Räume im Gebäude, Zuordnung zu den typischen Räumen, Hinzufügen der definierten Leuchten

■ 5. Schritt: Energienachweis. Automatische Erstellung der Energiebilanz und Vergleich mit den Anforderungen

■ 6. Schritt: Drucken. Auswahl der zu druckenden Seiten, Erstellen einer pdf-Datei

Der Energienachweis mit dem Software-Tool von Relux für Minergie und SIA 380/4 bietet einige spezielle Features, welche den Anwendungsbereich gegenüber der bisherigen Excel-Anwendung beträchtlich erweitern.

■ Das Nachweis-Tool «ReluxEnergyCH» bietet die Möglichkeit, die Arbeiten mit der Planungssoftware «Relux-Suite» zu kombinieren. Räume, die in Relux-Suite simuliert und geplant wurden, können direkt in den Minergie-Nachweis importiert und bei späteren Anpassungen modifiziert werden.

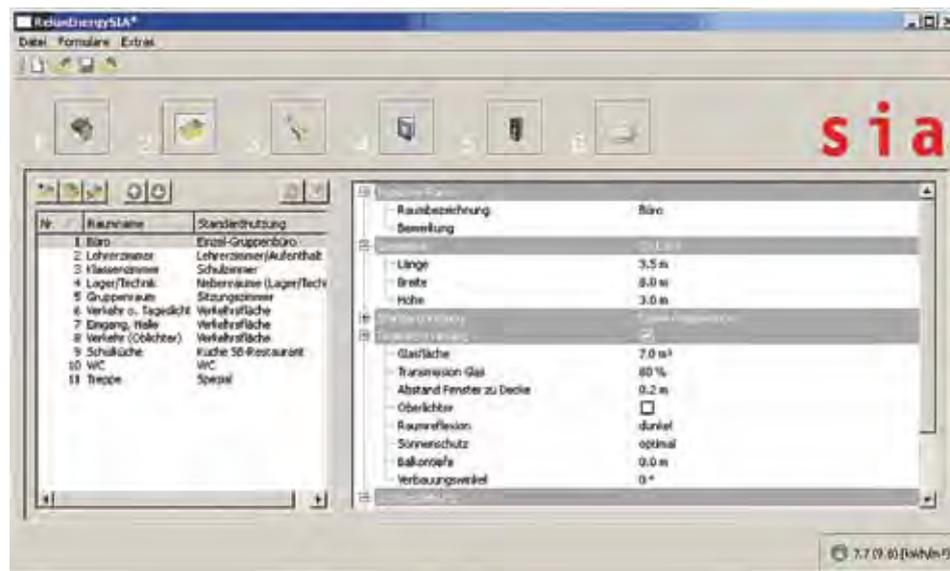


Abbildung 43:  
Eingabemaske der  
Nachweissoftware  
«ReluxEnergyCH»



Abbildung 44:  
Download von  
Energietools auf  
der Webseite des  
SIA

■ Auch die Nachweise, die zwischen 2003 und 2010 mit dem Excel-Tool erstellt wurden, können ohne Aufwand importiert und weiter bearbeitet werden. In den Masken und Tabellen kann dupliziert, verschoben, sortiert und gefiltert werden, sodass das Arbeiten viel effizienter ist als in einer starren Excel-Tabelle.

■ Das Tool ist 3-sprachig in deutsch, französisch und italienisch; die Sprachen können per Knopfdruck umgestellt werden.

Die Software kann von drei verschiedenen Webseiten herunter geladen werden: [www.relux.com](http://www.relux.com), [www.minergie.ch](http://www.minergie.ch) und [www.energytools.ch](http://www.energytools.ch). Bevor eine Lizenz nötig wird, kann das Programm getestet werden; alle Funktionen ausser «Speichern» und «Drucken» sind im Testmodus verfügbar. Die Lizenzierung kann wahlweise als Einzelplatzversion (Computer gebunden oder Computer ungebunden mit USB-Codemeter) oder als Serverversion (für mehrere Nutzer) erworben werden; sie gilt jeweils für ein Jahr. Der Basispreis beträgt 245 Franken.

### Planung mit Relux-Suite

Die Planung der Beleuchtung mit der Relux-Suite (oder alternativ mit dem deutschen Produkt Dialux) gehört zum Standard jeder seriösen Beleuchtungsplanung. Das Programm wird von der europäischen Leuchtenindustrie finanziert und steht

kostenlos unter [www.relux.com](http://www.relux.com) zur Verfügung. ReluxSuite bietet eine detaillierte Beleuchtungsplanung:

■ In einer online-Datenbank stehen über 200 000 verschiedene Leuchten von rund 100 verschiedenen Leuchtenherstellern aus ganz Europa zur Verfügung. Die Datenbank wird laufend aktualisiert und erweitert.

■ Räume können individuell gestaltet werden, mit hunderten verschiedener Materialien, Möbeln, Türen, Fenster und Leuchten. Die Räume können zwei- oder dreidimensional dargestellt und in alle Richtungen gedreht werden.

■ Die Beleuchtung lässt sich automatisch oder individuell planen.

■ Auf Knopfdruck wird die Lichtverteilung im Raum simuliert und auf unterschiedlichste Art und Weise visualisiert: in Tabellen, Isolux-Grafiken, dreidimensionale Falschfarben-Darstellungen oder als fotorealistisches Rendering.

■ Wer es noch professioneller haben will, kann CAD-Pläne importieren und die Beleuchtung direkt in den Plänen des Architekten planen.

■ Auch Aussenbeleuchtungen und Tunnels sind im Programm enthalten.

Relux-Suite hat allerdings einen Nachteil: Für viele einfachere Planungsaufgaben ist das Programm zu komplex. Eine Schulung ist unerlässlich.

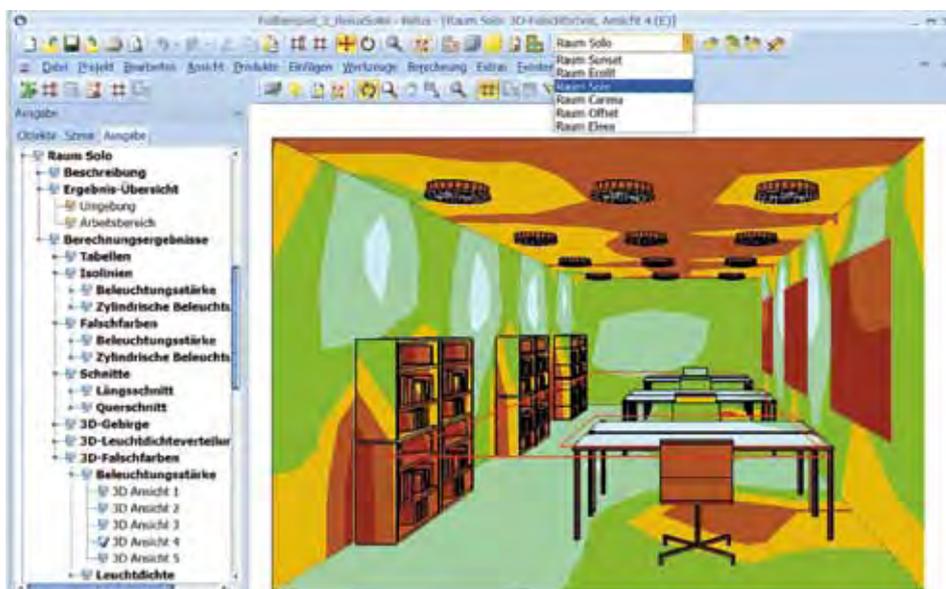


Abbildung 45:  
Printscreen aus dem  
Programm Relux-  
Suite

## 2.6 Beleuchtungs-Check für Zweckbauten

Zur Beurteilung einer bestehenden Beleuchtung in einem Gebäude, eignet sich der Beleuchtungscheck wie im Folgenden beschrieben sehr gut. Grundlage des Checks bildet die Norm SIA 380/4. Die Energiebilanz ermöglicht einen Vergleich mit Referenzwerten der SIA-Norm 380/4 und damit eine Abschätzung des Einsparpotenzials.

### Vorgehen

1. Typische Räume auswählen
2. Leuchten und Lampen erfassen
3. Beleuchtungsstärken messen
4. Tageslichtsituation beurteilen
5. Lichtregulierung prüfen
6. Energiebilanz erstellen

### Typische Räume auswählen

In der Regel ist es nicht nötig, alle Räume in einem Gebäude zu erfassen, weil es meist sehr viele gleiche oder ähnliche Räume gibt. Die Berechnung und Bewertung erfolgt anhand von repräsentativen Räumen, zum Beispiel ein Schulzimmer oder ein Büro (Abbildung 46).

Die Erfahrung zeigt, dass die drei bis fünf wichtigsten Nutzungen über 80 % des Stromverbrauchs für Beleuchtung ausmachen. Es ist daher von untergeordneter Bedeutung, welche Beleuchtungen z. B. in Lagern oder Toiletten installiert sind. In den Grundrissplänen des Gebäudes lassen sich die verschiedenen Nutzungen kolorieren. Von diesen typischen Räumen sind die Nettoflächen zu ermitteln. Selbstverständlich sind für eine Energiebilanz die Flächen der anderen Räume ebenfalls zu erheben.

Nutzung	Fläche typischer Raum (m <sup>2</sup> )	Fläche aller Räume (m <sup>2</sup> )
Schulzimmer	72	372
Büro	40	120
Korridor	50	352
Übrige Räume	–	80
<b>Total</b>		<b>941</b>

Table 25:  
Beleuchtete Flächen von typischen Räumen, Nutzungen und vom Gesamtgebäude

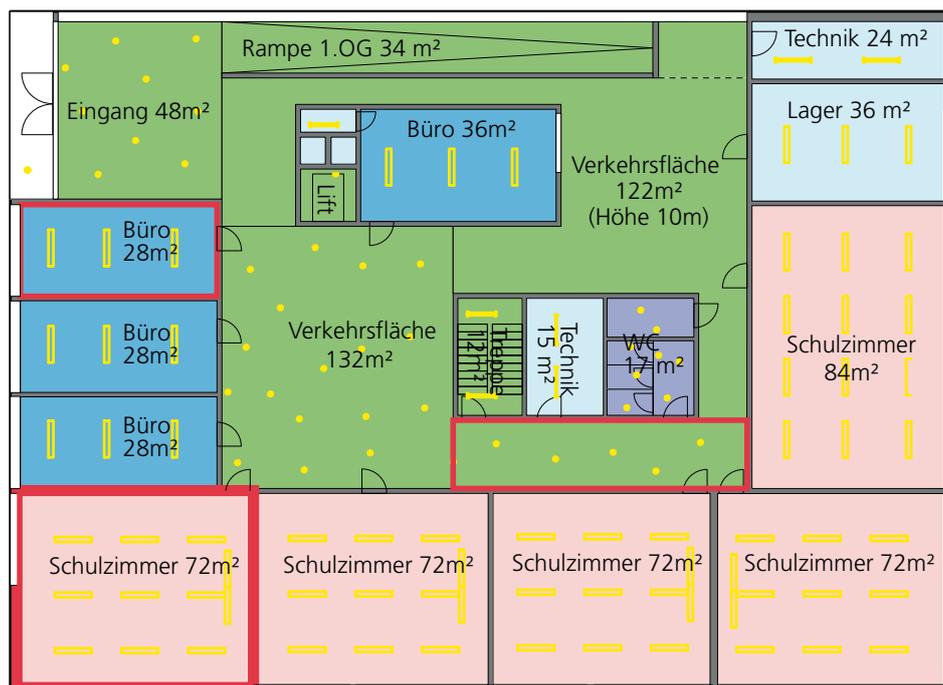


Abbildung 46:  
Grundriss eines Schulhauses mit markierten Nutzungen und typischen Räumen

### Leuchten und Lampen erfassen

In jedem typischen Raum werden Fläche, Leuchtenzahl und -Leistungen erfasst und die spezifische installierte Leistung berechnet.

### Anmerkungen zur Tabelle 26

■ **Bestückung:** Die Anzahl Lampen pro Leuchte und die deklarierte Leistung der Lampen ohne Vorschaltgerät

■ **Systemleistung:** Zusätzlich zur Lampenleistung ist die Leistung des Vorschaltgerätes zu erheben; die Verlustleistung beträgt zwischen 5 % und 20 % der Lampenleistung. Die meisten Hersteller von Vorschaltgeräten dokumentieren deren Verlustleistung auf ihrer Webseite.

Die spezifische Leistung kann mit dem entsprechenden Werten der Norm SIA 380/4 verglichen werden. Die Anforderungen sind abhängig vom Raumindex; bei grö-

sseren Räumen sind die Anforderungen tiefer, bei kleinen Räumen höher. Grund dafür ist der Anteil der Wandfläche – je grösser diese ist, desto mehr Licht wird an Wänden absorbiert und nicht zurück in den Raum reflektiert. Der Raumindex rechnet sich nach folgender Formel:

$$\text{Raumindex (k)} = \frac{\text{Höhe} \times \text{Breite}}{(\text{Raumhöhe} - \text{Tischhöhe}) \times (\text{Höhe} + \text{Breite})}$$

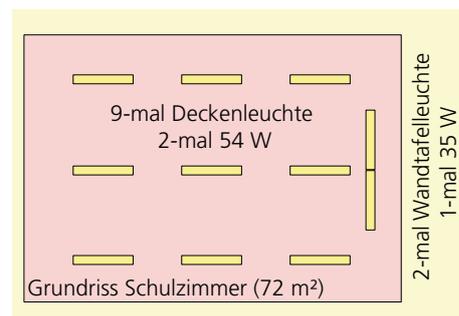


Abbildung 47:  
Typischer Schulraum  
mit Installations-  
grundriss

	Bestückung	Systemleistung	Anzahl Leuchten	Total
Leuchtentyp 1	2-mal 54 W	122 W	9	1098 W
Leuchtentyp 2	1-mal 39 W	42 W	2	84 W
Installierte Leistung				1182 W
Fläche				72 m <sup>2</sup>
Spezifische Leistung				16,4 W/m <sup>2</sup>
Grenzwert				14,0 W/m <sup>2</sup>
Zielwert				11,5 W/m <sup>2</sup>
Raumindex				2

Tabelle 26:  
Leistungsbilanz und  
Anforderungen SIA  
380/4 an die instal-  
lierte Leistung im  
typischen Schul-  
zimmer

### Beleuchtungsstärke messen

Mit einem Luxmeter sind die (horizontalen) Beleuchtungsstärken im verdunkelten Raum an verschiedenen Stellen zu messen (Abbildung 48). In Arbeitsräumen wird die Beleuchtungsstärke auf Tischhöhe, in allen übrigen Räumen auf dem Boden gemessen. Das Luxmeter sollte von guter Qualität sein und eine so genannte V-Lambda-Korrektur generieren (Farbempfindlichkeitsverteilung des menschlichen Auges).

■ Die volle Helligkeit erreichen Leuchtstofflampen erst nach mehreren Minuten. Eine Beleuchtung sollte demnach 15 Minuten vor der Messung in Betrieb sein.

■ Der Raum sollte möglichst gut verdunkelt werden. Wenn dies nicht möglich ist, kann auch eine Differenzmessung durchgeführt werden. Zu diesem Zweck misst man an definierten Punkten die Beleuchtungsstärke mit und ohne Kunstlicht und subtrahiert die zwei gemessenen Werte von einander. Bei zu grossem Tageslichteintrag ist diese Methode nicht empfehlenswert.

■ Die Messpunkte richten sich sinnvollerweise nach einem Raster (Abbildung 49).

■ Eine Messung soll an der hellsten Stelle, zum Beispiel in der Raummitte, erfolgen; ferner sollen Messungen ca. 1 Meter von der Wand entfernt erfolgen. 10 bis 15 Messpunkte pro Raum sind genügend.

■ Aus den Messergebnissen wird der Mittelwert gebildet und auf 50 Lux gerundet; eine genauere Angabe ist nicht zweckmässig.



■ Die gemessene Beleuchtungsstärke kann mit den entsprechenden Werten der Norm SIA 380/4 (Elektrische Energie im Hochbau) verglichen werden.

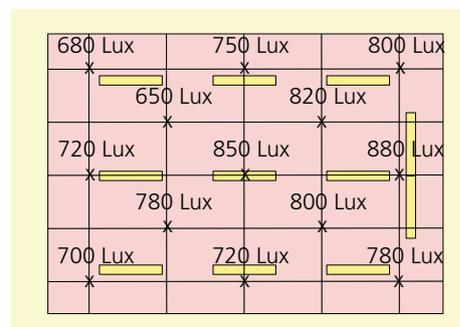


Abbildung 48  
(links): Luxmeter zur Messung der Beleuchtungsstärke

Abbildung 49  
(rechts): Messraster für die Beleuchtungsstärke

	Beleuchtungsstärke in Lux			Gleichmässigkeit Minimum zu Maximum
	Mittel	Minimum	Maximum	
Schulzimmer	750	650	750	0,74
Anforderung	500	–	–	mindestens 0,5

Tabelle 27:  
Anforderungen EN 12464 und SIA 380/4 an die Beleuchtungsstärke

### Tageslichtnutzung beurteilen

Die Möglichkeit der Tageslichtnutzung – und die damit verbundene Einsparung bei der künstlichen Beleuchtung – hängt von zahlreichen Einflussfaktoren ab. In erster Näherung kann die Tageslichtnutzung auf der Basis der Glasfläche, der Glasdurchlässigkeit und der Art des Sonnenschutzes beurteilt werden. Das hier dargestellte Verfahren ist eine zweckmässige Vereinfachung des Beleuchtungsmodells nach SIA 380/4 und für Beleuchtungchecks empfehlenswert (Tabelle 28).

Für die Gesamtbeurteilung der Tageslichtsituation ist die tiefste Bewertung aller drei Einflussfaktoren massgebend.

■ **Glas- zu Bodenfläche:** Verhältnis zwischen der Nettobodenfläche eines Raumes zur Nettoglasfläche der Fenster im Raum.

■ **Lichttransmission Glas:** Welcher Prozentsatz des eingestrahlichten Lichtes gelangt in den Raum? Wie viel wird reflektiert? Der Transmissionsgrad ist ein deklariertes Kennwert von Fenstern. Sonnenschutzgläser werden häufig als Alternative für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen verwendet.

■ **Art des Sonnenschutzes:** Nicht immer ist ein Sonnenschutz zwingend nötig. Vor allem Räume gegen Norden oder Räume, bei denen das Direktlicht durch die Umgebung (Gebäude, Berge oder Bäume) teilweise abgeschirmt wird, können durchaus einen mittleren bis guten Sonnenschutz gewähren.

*Tabelle 28:  
Einfacher Beurteilungs-  
raster für die  
Tageslichtnutzung*

*Abbildung 50:  
Sonnenschutz im  
Vergleich mit heller  
Lamelle (gut), Mar-  
kise (mässige Wir-  
kung) oder Rollo in-  
nen (ungünstig)  
Bilder: Schenker  
Storen AG, Stobag  
AG, Jalousy*

Tageslicht- situation	Glas- zu Boden- fläche	Lichttrans- mission Glas	Art des Sonnenschutzes
gut	über 25 %	über 70 %	Aussen liegende, helle Lamellen- storen (Jalousien), elektrisch oder mechanisch verstellbar
mittel	15 % bis 25 %	50 % bis 70 %	Dunkle Lamellenstoren, Licht- durchlässige Stoffmarkisen (au- ssen oder innen liegend) oder baulicher Sonnenschutz (unbe- weglich)
gering	unter 15 %	unter 50 %	Lichtundurchlässige Stoffmarki- sen, aussen oder innen liegend oder Vorhänge, Rollos oder Läden
kein Tageslicht	0 %	–	–



### Lichtregulierung prüfen

Die effektiven Volllaststunden einer Beleuchtung hängen von der individuellen Nutzung ab und sind daher nur qualitativ bestimmbar. Die Referenzwerte nach Norm SIA 380/4 basieren auf einem standardisierten Benutzerverhalten. Daraus lassen sich in Abhängigkeit von der Tageslichtsituation, der Art der Lichtsteuerung und der Nutzung vergleichbare Volllaststundenzahlen ableiten.

Bei den Zahlen in Tabelle 29 handelt es sich um eine vereinfachte Quantifizierung im Vergleich zu SIA 380/4. Die Zahlen gelten für Objekte mit einer typischen Jahresnutzungszeit von 2750 Stunden (entspricht 250 Tagen zu 11 Stunden). Zudem basieren die Zahlen auf Beleuchtungen mit einer vom Tageslicht und von der Präsenz abhängigen Regelung. (Bei Räumen ohne Tageslicht ist nur die von der Präsenz abhängige Regelung relevant.)

■ **Sporadische Nutzung:** Die erste Volllaststundenzahl in Angabe der Bandbreite in der Tabelle gilt für Flächen mit sporadischer Nutzung, z.B. WC, Garderoben, Lager, Erschliessungsflächen zu den Nebennutzungen.

■ **Regelmässige Nutzung:** Die zweite Volllaststundenzahl in der Tabelle gilt für Räume mit regelmässiger Nutzung, z.B. Büro, Schulzimmer, Erschliessungsflächen zu den Hauptnutzungen.

■ **Manuelle Steuerung:** Die Beleuchtung wird über Lichtschalter von Hand ein- und ausgeschaltet.

■ **Automatische Regelung:** Die Beleuchtung wird vollautomatisch über Konstantlichtregelung oder On-off-Schaltung geregelt. Erfahrungen zeigen, dass Lichtregelungen, die das Lichtniveau stufenlos in Abhängigkeit des Tageslichts einstellen nicht energieeffizienter sind als Ein-Aus-Schaltungen. Der Grund liegt im Standby-Verbrauch der Konstantlichtregelung und des in der Praxis meist nicht idealen Regulierungsvorgangs.

■ **Halbautomatische Regelung** (automatisch aus, manuell ein): Den höchsten Effizienzgewinn bringt die halbautomatische Regelung. Das heisst, das Licht wird in Abhängigkeit von Tageslicht und Anwesenheit automatisch ausgeschaltet; das Licht muss von Hand wieder eingeschaltet werden.

### Energiebilanz erstellen

Die ermittelten Werte eines typischen Raumes werden den Referenzwerten gegenübergestellt und eine Energiebilanz mit Einsparpotenzial erstellt (Tabelle 30).

■ **Spezifischer Energiebedarf:** Multiplikation der installierten Leistung mit der Volllaststundenzahl.

Tageslicht-nutzung	Manuelle Schaltung (h/a)	Automatische Regelung (h/a)	Halbautomatische Regelung (h/a)
Gut	500 – 1000	300 – 600	250 – 500
Mittel	1000 – 1500	600 – 1200	500 – 1000
Gering	1500 – 2000	900 – 1800	750 – 1500
Kein Tageslicht	2000 – 2750	1100 – 2200	1000 – 2000

Tabelle 29: Volllaststunden für unterschiedliche Tageslichtnutzung und Regelungsverfahren in Bürobauten



Abbildung 51: Bauformen von Präsenzmeldern (meist in Kombination mit Tageslichtsensor)

■ **Energiebedarf:** Multiplikation des spezifischen Energiebedarfs mit der Gesamtfläche des Gebäudes.

■ **Energieeinsparung:** Differenz zwischen Grenz- und Projektwert respektive Ziel- und Projektwert.

■ **Energiekosteneinsparung:** Energieeinsparung multipliziert mit dem Energiepreis (z. B. 20 Rp./kWh)

Für alle typischen Räume wird analog vorgegangen; danach lässt sich eine Gesamtbilanz und die Energieeinsparung für das Gebäude berechnen (Tabelle 31 und Tabelle 32).

*Tabelle 30:  
Energieeinsparung  
in einem Schulzimmer  
im Vergleich zu  
Grenz- und Zielwert  
nach Norm SIA  
380/4 (Beispiel)*

Erfassungsschritt	Projektwert	Grenzwert	Zielwert
1. Typischer Raum	Schulzimmer: 72 m <sup>2</sup>		
2. Installierte Leistung	16,4 W/m <sup>2</sup>	14,0 W/m <sup>2</sup>	10,0 W/m <sup>2</sup>
3. Mittlere Beleuchtungsstärke	750 Lux	500 Lux	
4. Tageslichtsituation	mittel	mittel	gut
5. Lichtregelung + Volllaststunden	manuell 1500 h/a	manuell 1700 h/a	halbautomatisch 950 h/a
<b>Berechnung</b>			
Spezifischer Energiebedarf	24,6 kWh/m <sup>2</sup>	24 kWh/m <sup>2</sup>	10 kWh/m <sup>2</sup>
Gesamtfläche	alle Schulzimmer: 372 m <sup>2</sup>		
Energiebedarf	9200 kWh/a	7800 kWh/a	3700 kWh/a
Energieeinsparung		-1400 kWh/a	-5500 kWh/a
Energiekosteneinsparung		ca. -280 Fr./a	ca. -1100 Fr./a

*Tabelle 31:  
Energiebilanz Beleuchtung  
für das ganze Gebäude*

Nutzung	Fläche (m <sup>2</sup> )	Projektwert (kWh/a)	Grenzwert (kWh/a)	Zielwert (kWh/a)
Schulzimmer	372	24,6	24	10
Büro	120	28,4	27	11,5
Korridor	352	15,6	15	3
Übrige Räume	(80)	-	-	-
Total	844	21,4	20,7	7,3

*Tabelle 32: Energieeinsparung in einem Gebäude als Vergleich von Projektwert und Grenz- und Zielwert nach Norm SIA 380/4*

Berechnung	Projektwert	Grenzwert	Zielwert
Energiebedarf	18100 kWh/a	17500 kWh/a	6200 kWh/a
Energieeinsparung		-600 kWh/a	-11900 kWh/a
Energiekosteneinsparung		ca. 120 Fr./a	ca. 2400 Fr./a
Einsparung in 15 Jahren		1800 Fr.	36000 Fr.

## 2.7 Qualitätssicherung Energieeffizienz

Damit die hohen Effizienzpotenziale bei der professionellen Beleuchtung in Zweckbauten auch umgesetzt werden können, sollten Planungen mit einer Qualitätssicherung ergänzt werden. Zur Qualitätssicherung gehört insbesondere auch die vollständige Kontrolle der Beleuchtung während der Betriebsphase.

### Amt für Hochbauten der Stadt Zürich

Seit Beginn der Minergie-Zertifizierungen in Zweckbauten (2001) werden die Beleuchtungsanlagen in städtischen Bauten mehrheitlich mit Minergie-Beleuchtungen ausgerüstet (Abbildung 52). Die Erfüllung der Anforderungen wird überprüft. Die Qualitätssicherung umfasst vier Elemente:

- Ausbildung von Planenden
- 3-fache Erstellung des Minergie-Nachweises (in der Planungsphase, vor der Ausführung und im Betrieb)

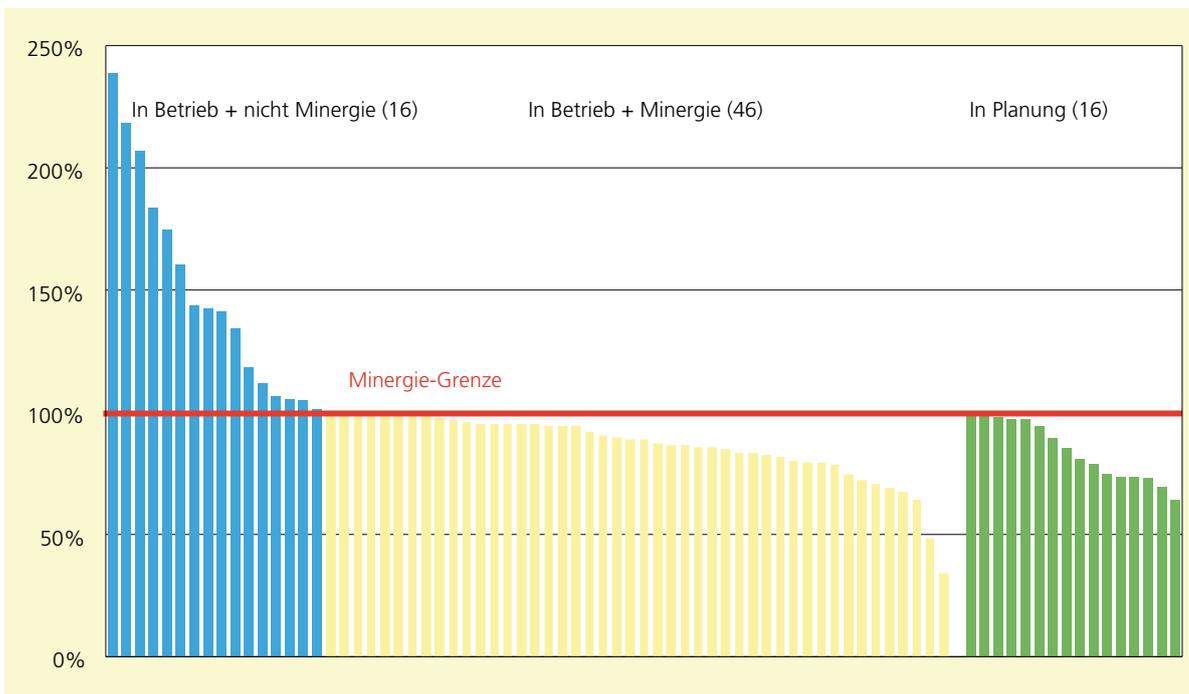


Abbildung 52: Systematische Minergie-Kontrolle von Beleuchtungen in stadteigenen Bauten in der Stadt Zürich

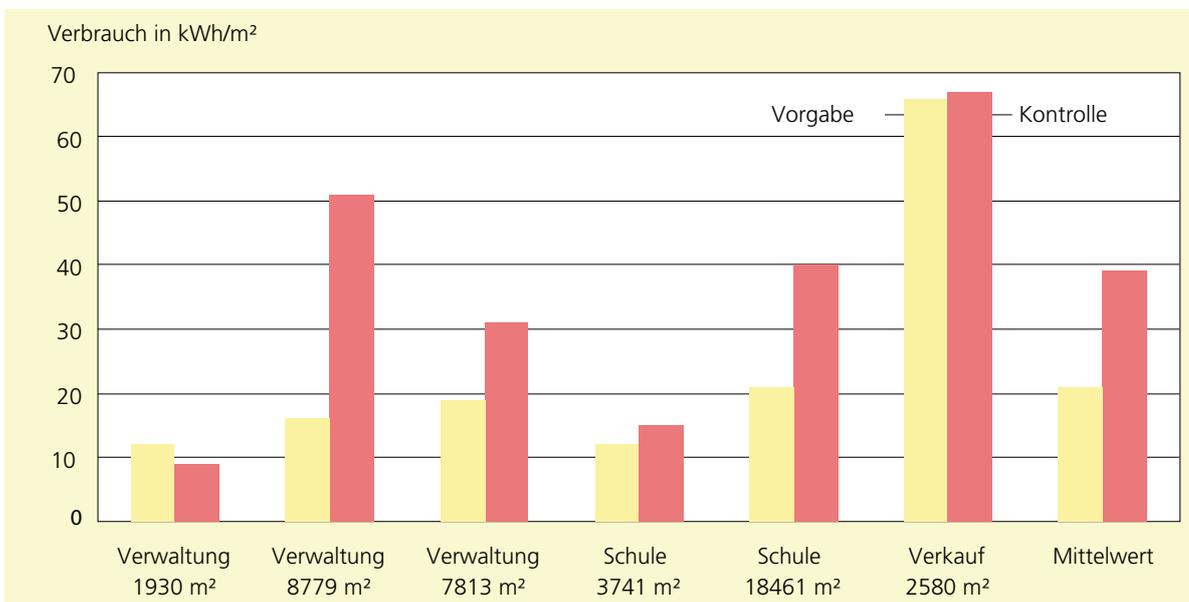


Abbildung 53: Ausführungskontrollen in Minergie-Bauten ausserhalb der Stadt Zürich. 50% erfüllen nicht.

- Beratung von Planenden nach Bedarf
  - Ausführungskontrollen im Betrieb
- Fast 80 Gebäude (Schulhäuser, Bürobauten und Spitalbauten) mit einer Nutzfläche von 380 000 m<sup>2</sup> und einem Energiebedarf von 4 600 MWh pro Jahr für die Beleuchtung wurden bisher auf diese Weise kontrolliert; 80 % davon hielten den Minergie-Standard für Beleuchtung ein – auch im Betrieb. Einige Gebäude wurden z. B. aus denkmalpflegerischen Gründen von der Minergie-Vorgabe ausgenommen. Bei einigen wenigen wurde die Anforderung am Schluss trotz Vorgabe nicht eingehalten. Der Erfüllungsgrad in der Stadt Zürich liegt bei etwa 90 %.

Die Minergie-Anforderung ist aufgrund der unterschiedlichen Nutzungen in den Gebäuden nicht immer gleich; zum Vergleich wurde deshalb der Minergie-Index definiert. Er beschreibt das Verhältnis von effektivem Projektwert und der Minergie-Anforderung; liegt der Wert bei 100 % wird Minergie genau eingehalten. Bei Werten über 100 % wird Minergie nicht eingehalten, darunter wird Minergie unterboten.

#### Minergie-Zertifizierungsstellen

Eine Untersuchung im Auftrag der Geschäftsstelle von Minergie zeigte 2009, dass ausserhalb der Stadt Zürich gut die Hälfte aller mit Minergie bezeichneten Gebäude das Label in Bezug auf die Beleuchtung gar nicht verdiente. Der Mehrverbrauch war zum Teil erheblich. In einem Gebäude einer Hochschule und in einem Verlagshaus lag der Elektrizitätsbedarf um über 100 % über der Anforderung.

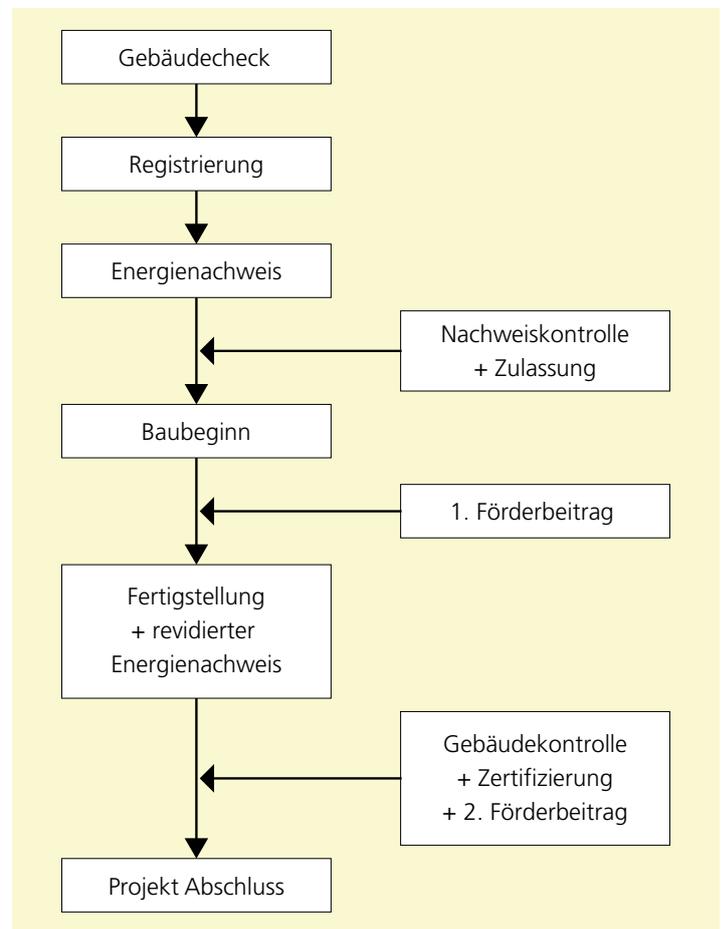
#### Förderprogramm Prokilowatt

Das aus einer Förderabgabe der Elektrizitätswerke finanzierte Programm der «wettbewerblichen Ausschreibungen» (kurz Prokilowatt) unterstützt Projekte in der Elektrizitätsanwendung mit garantierter Einsparung. Auf der Basis der Erfahrungen mit den Missbräuchen beim Minergie-Label hat der Schweizer Fachverband der Leuchtenindustrie (FVB) ein Programm eingereicht, welches Beleuchtungsanlagen mit garantierter Energieeinsparung reali-

sieren soll. Mit finanziellen Anreizen und einem Vorgehen analog demjenigen in der Stadt Zürich sollen innerhalb von zwei Jahren 100 Zweckbauten mit 400 000 m<sup>2</sup> beleuchteter Fläche mit effizienten Beleuchtungen nachgerüstet werden.

Als Basis für die Berechnung der Einsparung gilt nicht die Minergie-Anforderung, sondern eine neu definierte Vorgabe: Die Gebäude sollen 40 % unter dem Grenzwert nach Norm SIA 380/4 liegen. Durch diese Vorgabe wird der Fokus auf die Effizienz der installierten Leuchten gerichtet und die Relevanz von Lichtregulierungen im Vergleich zu Minergie etwas reduziert. Das scheint sinnvoll, denn eine gute Installation (Hardware) funktioniert häufig zuverlässiger als komplexe Lichtsteuerungen (Software). Die ganze Prozedur läuft online über [www.effelux.ch](http://www.effelux.ch) ab (Abbildung 54). Am Anfang steht der Gebäudecheck, der die Zulassungsbedingungen überprüft und als Einstiegspforte für die Registrierung der Gebäude dient.

**Abbildung 54:**  
Ablauf der Förderung durch das Programm Effelux



## Kapitel 3

## Lampen

## 3.1 Typologie der Lampen

Es gibt grundsätzlich drei verschiedene Methoden, um Licht für Leuchtmittel zu erzeugen: Temperaturstrahler, Entladungslampen und Leuchtdioden (LED). Jede der über 1000 verschiedenen am Markt erhältlichen Lampentypen lässt sich einer der drei Technologien zuordnen.

■ **Temperaturstrahler:** Ein Draht wird zum Glühen gebracht. Als Nebenwirkung der Hitze entsteht sichtbares Licht. Die zwei Hauptvertreter dieser Kategorie sind die Glühlampe und die Halogenlampe (eigentlich Halogenglühlampe). Auch die Kerze, die Gaslampe und die Sonne sind Vertreter der Temperaturstrahler.

■ **Entladungslampe:** Zwischen zwei Polen werden hintereinander schnelle Entladungen (Blitze) ausgelöst. Die Entladungslampe funktioniert nach dem Prinzip eines kontrollierten Gewitters. Bei den Entladungslampen unterscheidet man zwei Unterkategorien: Bei Leuchtstofflampen sind

die «Blitze» ultraviolett und werden durch ein mit Leuchtstoffen beschichtetes Glas in sichtbares Licht umgewandelt. Sparlampen und die Leuchtstoffröhren gehören dazu. Die Halogenmetallampfen und Natriumdampflampen (orange Strassenlampen) benötigen keine Leuchtstoffumwandlung. Die Effizienz von Entladungslampen ist 3- bis 10-mal grösser als von Temperaturstrahlern.

■ **Leuchtdioden sind lichtemittierende elektronische Halbleiter-Elemente.** Sofern durch eine Leuchtdiode Strom in Durchlassrichtung fliesst, strahlt sie Licht mit einer vom Halbleiterelement abhängigen Wellenlänge ab. Der Prozess entspricht jenem der Solarzellen, allerdings in umgekehrter Richtung. LED steht für light-emitting diode. LED-Lampen vereinen die Vorteile der Temperaturstrahler und diejenigen der Entladungslampen und weisen vergleichsweise wenige Nachteile auf.

Kriterium	Glühlampe	Halogenlampe	Sparlampe	LED
				
Energieeffizienz	10 – 15 lm/W	15 – 20 lm/W	40 – 60 lm/W	10 – 80 lm/W
Lebensdauer	1000 h	2000 h	6000 – 15 000 h	15 000 – 50 000 h
Zahl der Schaltzyklen	unbeschränkt	unbeschränkt	3000 – 500 000	20 000 – 1 Mio.
Anlaufzeit	sofort	sofort	20 s – 180 s	sofort
Dimmbarkeit	ja	ja	wenige Modelle	viele Modelle
Farbwiedergabe CRI	100	100	80	50 bis 95
Oberflächentemperatur	über 200 °C	über 200 °C	bis 50 °C	bis 40 °C
Leistungsfaktor	1	1	0,5	0,3 bis 0,9
Entsorgung	Hausmüll	Hausmüll	Sondermüll	Elektroschrott
Anschaffungspreis	ca. 2 Fr.	ca. 4 Fr.	ca. 10 Fr.	ca. 50 Fr.
Betriebsenergie (1000 lm, 10 000 Std.)	750 kWh 150 Fr.	600 kWh 120 Fr.	150 kWh 30 Fr.	150 kWh 30 Fr.
Herstellungenergie	1 kWh	2 kWh bis 3 kWh	2 kWh bis 3 kWh	2 kWh bis 3 kWh
Leistungsbereich	15 W bis 150 W	10 W bis 120 W	3 W bis 25 W	1 W bis 12 W
Wirkungsgrad Strom zu Licht	ca. 5 %	ca. 7 %	20 % bis 30 %	20 % bis 40 %

*Tabelle 33:  
Vor- und Nachteile  
von Lampen für den  
Glühlampenersatz  
(Retrofit)*

### Glühlampen und ihre Alternativen

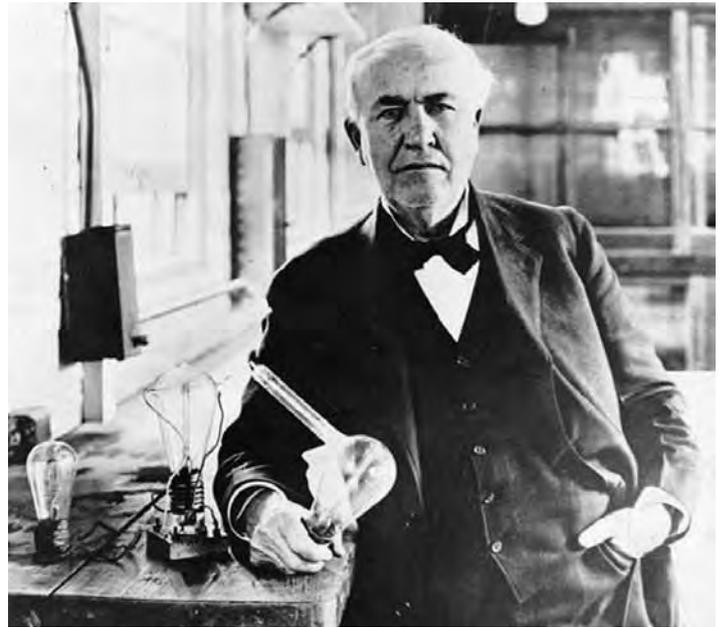
Wenn eine Glühlampe ersetzt werden muss, stehen drei Alternativen zur Verfügung, alle mit denselben Schraubsockeln E14 und E27 erhältlich: Halogenlampe, Sparlampe und LED-Lampe. Je nach Verwendung wird eine andere Lampe als Ersatz von Glühlampen empfohlen:

■ **Halogenlampe:** für stimmungsvolles Licht mit Dimmung oder sehr kurze Betriebszeiten.

■ **Sparlampe:** für alle Leuchten, bei denen das Leuchtmittel verborgen ist, und Leuchten mit sehr langer Brenndauer.

■ **LED-Lampen:** für Lese-, Arbeits- und Esstischleuchten, ferner Spotbeleuchtung als Ersatz von Halogenspots.

Abbildung 55:  
Thomas Alva Edison  
in seinem Lichtlabor  
(ca. 1880)



In der Tabelle 33 sind die Kriterien der drei Alternativlampen zusammengestellt. Die Sparlampe steht hier stellvertretend für alle Entladungslampen, wobei selbstverständlich beim reinen Ersatz (also ohne Kauf einer neuen Leuchte) nur diese Form der Leuchtstofflampe infrage kommt. Die LED-Technik wird in Kapitel 4 erläutert.

### 3.2 Temperaturstrahler

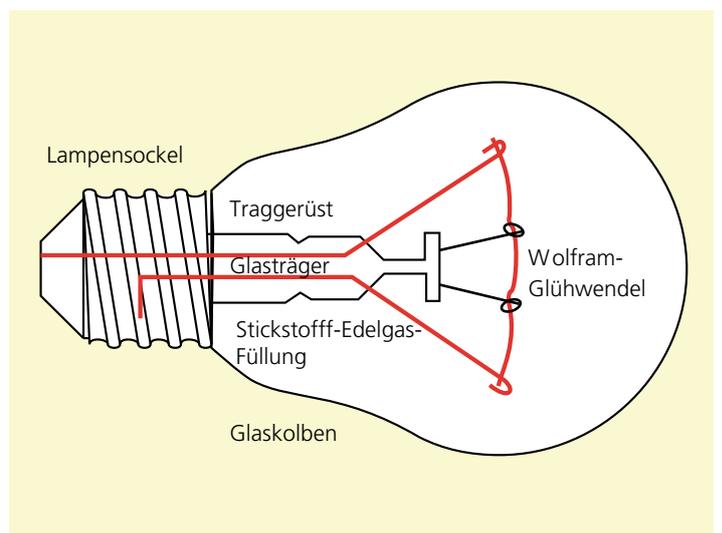
#### Glühlampen

Die wohl wichtigste Erfindung von Thomas Alva Edison (1847 bis 1931) war die Glühlampe (Kohlenfadenlampe) im Jahre 1879. Das Basispatent zur Lampe von Thomas Edison, Nr. 223.898 «Electric Lamp», wurde am 27. Januar 1880 ausgestellt. Vor Edison hatten sich zwar schon andere Erfinder mit der Herstellung von Glühlampen beschäftigt: Heinrich Göbel war es bereits in den 1850er Jahren gelungen, die erste Glühlampen mit Kohleglühfaden herzustellen, ohne jedoch ein Patent anzumelden. Erst Edison hat es fertig gebracht, eine dauerhaft funktionstüchtige Glühlampe zu konstruieren, die mit der Gaslampe wettbewerbsfähig war. Die Vorteile gegenüber der Gaslampe waren die Flacker- und Geruchsfreiheit, die geringere Wärmeabgabe und die einfachere Handhabung des Ein- und Ausschaltens. Die ersten Glühlampen brannten nur gerade 40 Stunden, aber bereits drei Jahre später ist es gelungen, Lampen herzustellen, die

Abbildung 56:  
Hinweisschilder im  
New Yorker Hotel  
del Coronado, 1888



Abbildung 57:  
Aufbau einer Glüh-  
lampe



1000 Stunden brannten. 1892 fusionierte Edison seine eigene Firma «Edison General Electric Company» mit der «Thomson Houston Company» zur «General Electric Company (GE)» – GE ist neben Osram und Philips noch heute eine der drei dominierenden Lampenfirmen der Welt. Thomas Alva Edison gilt als Vater unserer heutigen Glühbirnen. Nach seinem Namen werden heute noch die Sockel der Lampen benannt: Edison-Gewinde E14, E27 usw.

### Edisons Vermächtnis

Im Jahr 1888 wurde das neue Hotel del Coronado westlich von New York City mit elektrischer Beleuchtung ausgerüstet. Edison soll die Verkabelung des Hotels persönlich überwacht haben. Die Idee der elektrischen Beleuchtung war so unglaublich, dass in jedem Raum ein Schild neben den Gaslampen montiert wurde (Abbildung 56): «Dieser Raum ist mit elektrischem Licht von Edison ausgestattet. Versuchen Sie nicht, es mit einem Streichholz anzuzünden. Drehen Sie einfach den Schalter an der Wand bei der Tür. Die Verwendung von Elektrizität für die Beleuchtung ist nicht gesundheitsschädlich und führt zu keinen Schlafstörungen.»

**Funktionsprinzip:** Der aus einem gewendelten Wolframdraht bestehende Leuchtkörper sitzt mit seiner Halterung in einem gasdichten, in der Regel mit einem chemisch inaktiven Gas (meist Stickstoff-Argon-Gemisch) gefüllten Glaskolben. Ein Schraubsockel mit Nenndurchmessern von 14 mm oder 27 mm ermöglicht einen elektrischen Kontakt und mechanische Befestigung des Glaskolbens in der Fassung. Der Wohlfarmdraht wird durch «Kurzschluss» auf eine Temperatur von knapp 2000 °C erhitzt; dies entspricht einer Farbtempera-

tur von 2700 Kelvin (K). Nach rund 1000 Betriebsstunden schmilzt der Draht. Sinkt die elektrische Spannung unter 230 Volt (z. B. im Dimmbetrieb), nimmt die Lebensdauer zu – bei 200 Volt beträgt sie bereits 2000 Stunden, allerdings gibt die Glühlampe auch nur noch 60 % der vollen Lichtstärke ab. Bei Überspannung nimmt die Lebensdauer stark ab.

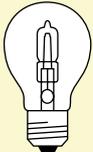
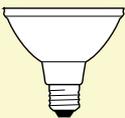
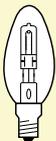
### Halogenlampen

Die Halogenlampe heisst korrekterweise Halogenleuchtstofflampe und ist eine Weiterentwicklung der Glühlampe und somit ein Temperaturstrahler. Sie ist sehr kompakt gebaut und hat deshalb sehr hohe Glas- und Wendeltemperaturen. Die Gase (Halogene) im Innern des Brenners bewirken, dass die Wendel stärker als bei Glühlampen erhitzt werden kann, weshalb auch Lichtausbeute und Farbtemperatur höher sind. Halogenlampen bedingen hitzefeste Fassungen und einen Quarzglaskolben. Die Effizienz der Halogenlampen ist höher, wenn der Glaskolben infrarot-reflektierend beschichtet ist. Die Wärmestrahlung

**Tabelle 34:**  
Vor- und Nachteil  
von Temperaturstrahlern

Kriterium	Vorteil	Nachteil
Energieeffizienz		10 bis 15 lm/W
Lebensdauer		1000 h
Zahl der Schaltzyklen	beliebig	
Anlaufzeit	sofort	
Dimmbarkeit	immer	
Farbwiedergabe CRI	100 (optimal)	
Oberflächentemperatur		über 200 °C
Leistungsfaktor	1,0	
Entsorgung	Hausmüll	
Anschaffungspreis	ca. 2 Fr.	
Betriebsenergie (1000 Lumen, 10000 h)		750 kWh
Herstellungenergie	1 kWh	
Leistungsbereich	10 W bis 2000 W	

**Tabelle 35:**  
Typologie der Halogenlampen (Sockeltyp, Leistungsbereich, Spannung)

									
<b>Sockeltyp</b>	E27	E27	E14	R7s	GU10	G9	GY5.3	GY6.35	G4
<b>Leistungsbereich (Watt)</b>	18 – 105	28 – 75	18 – 42	48 – 2000	28 – 75	20 – 60	14 – 50	20 – 150	5 – 20
<b>Spannung (Volt)</b>	230			12			12, 24		

wird dadurch auf die Wolframwendel reflektiert und erhitzt, sodass weniger elektrische Energie für die Erhitzung erforderlich ist. Das sichtbare Licht kann diese Infrarotbeschichtung ohne Verluste passieren, vergleichbar mit der Wärmeschutzbeschichtung bei Isoliergläsern. Halogenlampen haben dieselben Vor- und Nachteile wie Glühlampen. Aufgrund des Verbots von Glühlampen wurden viele Produkte mit Halogenlampen ergänzt. Im bekannten Glaskolben ist eine zweite Lampe – eine Halogenlampe – montiert. Die Effizienz wird um ca. 40 % gesteigert oder umgekehrt gesagt: man spart bei gleicher Lichtmenge etwa 30 % Strom. In Tabelle 35 sind die gebräuchlichsten Typen von Halogenlampen abgebildet. Daneben gibt es noch einige weitere Typen mit anderen Sockeln. Bei den steckbaren Lampen (Sockeltypen G, GU, GY) entspricht die Zahl in der Typenbezeichnung dem Abstand der Stifte in Millimetern. Bei den Lampen mit Edison-Gewinde (Sockeltyp E) bezeichnet die Zahl den Durchmesser des Gewindes in Millimetern.

**Anwendungen:** Halogenlampen sind häufig in Haushalten und im Gastgewerbe sowie in Läden zu finden. Das brillante Licht eignet sich gut zur Akzentbeleuchtung und zur Erzeugung von Lichtstimmungen. Bei langen Betriebszeiten (typisch: 4000 Stunden pro Jahr) fallen schnell hohe Betriebskosten an: In einem Restaurant oder Shop mit 100 m<sup>2</sup> Fläche und 50 Halogenlampen mit je 50 Watt ergeben sich pro Jahr rund 2000 Fr. Stromkosten und zusätzlich 1000 Fr. für Lampen, die 2-mal im Jahr gewechselt werden müssen. Eine Lösung mit effizienteren LED-Spotlampen würde sich in vielen Fällen trotz der hohen LED-Preise in rund zwei Jahren amortisieren.

### 3.3 Leuchtstofflampen

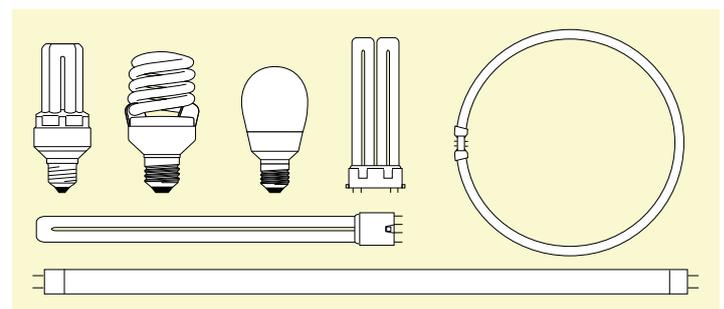
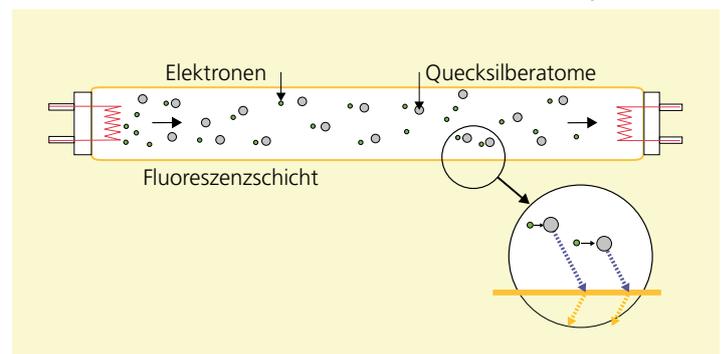
Die Leuchtstofflampen wurden in den 1930er Jahren entwickelt, aber in Europa erst nach dem zweiten Weltkrieg in nennenswerten Stückzahlen hergestellt. Obwohl sich ihre Grundkonstruktion seitdem kaum geändert hat, haben sich ihre Eigenschaften in der Zwischenzeit wesentlich verbessert: Die Lichtausbeute beträgt

heute über 100 lm/W, die Lebensdauer rund 10000 Stunden. Diese Entwicklung zu besseren Lampen war durch neue Leuchtstoffe und modifizierte Lampengeometrie möglich. Ab 1980 kamen Leuchtstofflampen mit sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften ( $R_a$  80/ $R_a$  90) sowie Kompaktleuchtstofflampen auf den Markt. Einige Jahre später verbesserten elektronische Vorschaltgeräte (EVG) die Lichtqualität sowie die Lichtausbeute der Leuchtstofflampen. Die Auswahl an Kompaktlampen wurde immer grösser. Seit dem Jahr 2000 gibt es eine neue Generation von Leuchtstofflampen mit kleineren Massen (Durchmesser 16 mm), die speziell für den EVG-Betrieb ausgelegt sind und deshalb Wirkungsgrade von über 100 lm/W sowie kompaktere Leuchten mit präziser Lichtlenkung ermöglichen.

**Funktionsprinzip:** In einem mit Quecksilberdampf gefüllten Glasrohr werden bei Stromdurchgang die Atome durch Elektronenstöße angeregt, die dadurch UV-Strahlen aussenden. Diese Strahlung trifft an der Rohrwand auf eine Leuchtstoffschicht. Der Leuchtstoff absorbiert die UV-Strahlung und wandelt sie in sichtbare Strahlung um. Die spektrale Zusammensetzung des Lichtes, also Lichtfarbe und Farbwiedergabe, hängen ab von der Zu-

Abbildung 58:  
Funktionsprinzip  
der Leuchtstoff-  
lampe

Abbildung 59:  
Typische Leucht-  
stofflampen



Lampentyp	Leistung (W)	Lichtstrom (lm)	Systemleistung (W)	Lichtausbeute (lm/W)	Länge (mm)	Sockel
Röhre Typ T16 (Durchmesser 16 mm)	14	1350	17	79	549	G5
	21	2100	24	88	849	G5
	28	2900	32	91	1149	G5
	35	3650	39	94	1449	G5
	24	2000	26	77	549	G5
	39	3500	43	81	849	G5
	49	4900	55	89	1449	G5
	54	5000	60	83	1149	G5
	80	7000	88	80	1449	G5
Röhren Typ T26 (Durchmesser 26 mm)	18	1350	19	71	590	G8
	36	3350	36	93	1200	G8
	58	5200	55	95	1500	G8
Ringlampe Typ TC-C	22	1800	26	69	225	2GX13
	40	3200	45	71	299	2GX13
	55	4200	61	69	299	2GX13
Kompaktlampe 3-fach gefaltet Typ TC-T	13	900	14	64	90	GX24q-1
	18	1200	19	63	100	GX24q-2
	26	1800	27	67	115	GX24q-3
	32	2400	36	67	131	GX24q-3
	42	3200	47	68	152	GX24q-4
	57	4300	63	68	195	GX24q-5
	70	5200	76	68	235	GX24q-6
Kompaktlampe 2-fach gefaltet Typ TC-D	10	600	12	50	87	G24q-1
	13	900	14	64	115	G24q-1
	18	1200	18	67	130	G24q-2
	26	1800	27	67	149	G24q-3
Kompaktlampe 1-fach gefaltet Typ TC-L	7	400	9	44	114	2G7
	9	600	12	50	144	2G7
	11	900	14	64	214	2G7
	18	1200	19	63	217	2G11
	24	1800	27	67	317	2G11
	36	2900	39	74	411	2G11
	40	3500	45	78	533	2G11
	55	4800	61	79	533	2G11
	80	6500	86	76	565	2G11
	16	1600	18	89	317	2GX11
	22	2200	25	88	411	2GX11
	26	2600	29	90	533	2GX11
	28	2800	31	90	565	2GX11
Kompaktlampe 2-mal 1-fach gefaltet Typ TC-F	18	1100	19	58	122	2G10
	24	1700	27	63	165	2G10
	36	2800	39	72	217	2G10
Sparlampen	5	270	5	54	ca. 100	E14/E27
	7	380	7	54	ca. 110	E14/E27
	11	640	11	58	ca. 120	E14/E27
	14	820	14	59	ca. 130	E27
	18	1140	18	63	ca. 150	E27
	22	1440	22	65	ca. 180	E27

**Tabelle 36:**  
Die häufigsten  
Leuchtstofflampen  
im Überblick

sammensetzung des Leuchtstoffes und ist somit variabel. In der Schweiz wird die Leuchtstofflampe häufig Fluoreszenzlampe genannt. Die Bezeichnung «Neonröhre» für diese Lampe ist jedoch falsch; Leuchtstoffröhren enthalten kein Neon. Jede Leuchtstofflampe benötigt ein Vorschaltgerät, das die Lampe startet und den Lampenstrom überwacht. Bis ca. 1985 existierten nur schwere konventionelle Vorschaltgeräte (KVG) mit separatem Starter. Heute werden meist elektronische Vorschaltgeräte (EVG) verwendet; dank der höherfrequenten Taktung (rund 50 000 Entladungen pro Sekunde) flimmert eine Leuchtstofflampe nicht (mehr) und der Lichtkomfort ist besser. Auch die Verluste sind bei elektronischen Vorschaltgeräten geringer als bei konventionellen Geräten. Drei Typen von Leuchtstofflampen sind besonders gebräuchlich: Leuchtstoffröhren, Kompaktleuchtstofflampen («zusammengefaltete Röhre») und Sparlampen (Kompaktleuchtstofflampen mit Schraubsockel und integriertem Vorschaltgerät). Von allen drei Typen gibt es zahlreiche verschiedene Bauformen.

**Anwendungen:** Die Leuchtstofflampen werden als eigentliche Standardleuchtmittel in den meisten Nichtwohnungsbauten (Infrastrukturbauten, Fabriken, Büro,

Schulen, Verkauf, Spitäler) eingesetzt; sie sind 5- bis 10-mal effizienter als Temperaturstrahler und weisen Energieeffizienzwerte zwischen 50 und 100 Lumen pro Watt aus. Wegen ihres diffusen Lichtes sind sie als Akzentbeleuchtung nicht geeignet. In der Schweiz sind etwa 100 Millionen Leuchtstofflampen im Betrieb; diese machen 80 % aller Lampen aus. Lediglich 20 % der Lampen sind Temperaturstrahler.

### Sparlampen

Sparlampen sind kompakte Leuchtstofflampen mit integriertem Betriebsgerät und einem Schraub- oder Bajonettsockel für den direkten Anschluss an das 230-Volt-Stromnetz. Sparlampen sind eine Bauform der Leuchtstofflampen. Es gibt sie in Leistungen zwischen ca. 3 Watt und 25 Watt. Da die technischen Anforderungen an Sparlampen bis 25 Watt geringer sind als bei Lampen höherer Leistung, sind vor allem Sparlampen mit geringer Wattage verbreitet. Es sind vier Bauformen zu unterscheiden (Abbildung 59):

- Stabform
- Spiralforn
- Klassische Glühlampenform
- Spotlampen (ohne Abbildung)

Die Qualitätsunterschiede bei den Sparlampen sind gross. In zahlreichen Tests wurde dies immer wieder bestätigt.

Verallgemeinernd lässt sich sagen, dass die Stablampen eindeutig die besten Sparlampen sind. Bei den anderen Formen fallen die lange Startzeit und die geringere Schaltfestigkeit negativ ins Gewicht. Wer sich für eine Sparlampe entscheidet, sollte wenn möglich eine stabförmige Lampe einsetzen und darauf achten, dass die Schaltfestigkeit hoch ist, d. h. über 75 000 mögliche Ein- und Ausschaltungen innerhalb der Lebensdauer der Lampe. Die Angabe zu den Schaltzyklen muss seit September 2010 auf allen Lampenverpackungen vermerkt sein. Die besten Sparlampen sind auf der Internetseite [www.topten.ch](http://www.topten.ch) gelistet.

**Tabelle 37:**  
Vor- und Nachteile  
von Leuchtstoff-  
lampen  
(EVG: elektronisches  
Vorschaltgerät)

Kriterium	Vorteil	Nachteil
Energieeffizienz	40 lm/W bis 100 lm/W	
Lebensdauer	6000 h bis 30 000 h	
Zahl der Schaltzyklen	Warmstartlampen: bis 500 000	Kaltstartlampen: 5000 bis 10 000
Anlaufzeit		20 s bis 180 s
Dimmbarkeit		spezielles EVG notwendig
Farbwiedergabe CRI	80 bis 90	
Oberflächentemperatur	30 °C bis 50 °C	
Leistungsfaktor	über 25 W: über 0,9	unter 25 W: 0,5
Entsorgung		Sondermüll
Anschaffungspreis		ab 5 Fr.
Betriebsenergie (1000 Lumen, 10 000 h)	150 kWh	
Herstellungenergie	2 kWh bis 3 kWh	
Leistungsbereich	3 W bis 80 W	

### Der Erfinder der Sparlampe

Häufig ist die Erfindung eines Produktes nicht eindeutig; Edison hat zwar die erste Glühlampe (um 1880) auf den Markt gebracht und diese auch patentieren lassen. Die erste funktionierende Glühlampe aber stammt von Heinrich Göbel (um 1850).

### Wer ist der Erfinder?

Bei der Sparlampe ist deren Erfindung auf den ersten Blick noch schwieriger zu personalisieren. Bereits in den 1920er-Jahren gelang es durch Gasentladung und Leuchtstoffbeschichtung sparsameres Licht zu erzeugen, allerdings mit sehr schlechter Lichtqualität. Um 1980 brachte Philips die erste kompakte Leuchtstofflampen mit integriertem Transformator und Schraubgewinde auf den Markt; sie war geeignet, in einzelnen Fällen Glühlampen zu ersetzen – wegen ihrer Form und Grösse wurden sie auch Konfitürenglas-Lampen genannt. Gemessen an der Qualität der heutigen Sparlampen, welche in Bezug auf Lichtqualität und Grösse mit Glühlampen mithalten können, heisst der Erfinder Jürg Nigg. 1984 konstruierte und patentierte er in seiner Firma Arcotronic im Zürcher Stadtkreis 5 die erste Sparlampe mit Qualitätsniveau. Sofortstart, kein Flackern und Flimmern, sehr lange Lebensdauer sowie kompakte Masse und geringes Gewicht zeichneten Niggs Sparlampe aus. Bei Niggs Lampe können Adapter (Gewinde mit integrierter Elektronik) und Leuchtstäbe sogar getrennt werden, was

es ermöglicht, verschiedene Lichtstärken mit demselben Adapter zu betreiben. Da die Lebensdauer des Adapters zudem 5-mal länger ist als die der Leuchtstäbe, ergibt sich ein zusätzlicher ökologischer Nutzen.

Die Industrie kopierte Niggs Sparlampe, verzichtete aber aus ökonomischen Überlegungen auf die Trennung von Leuchtstab und Adapter. Die Niggsche Sparlampe ist heute noch erhältlich und setzt immer noch das Qualitätsniveau, was viele Tests von Konsumentenzeitschriften im In- und Ausland immer wieder belegen. Die grosse Menge an Sparlampen freilich verkaufen die Grosskonzerne Osram und Philips.

*Abbildung 60:  
Messpanel für den  
Dauertest von Spar-  
lampen*



*Abbildung 61:  
Jürg Nigg und seine  
Erfindung, der Spar-  
lampen-Adapter  
([www.arcotronic.ch](http://www.arcotronic.ch))*

### Dimmen von Leuchtstofflampen

Dimmbare elektronische Vorschaltgeräte sind teurer als nicht-dimmbare und benötigen zusätzliche Steuergeräte und Steuerleitungen. Im Gegensatz zu Glühlampen (werden beim Dimmen stark rötlich) verändert sich die Lichtfarbe beim Dimmen von Leuchtstofflampen nicht. Aus diesem Grund kann durch Dimmen von Leuchtstofflampen kein Stimmungslicht erzeugt werden (Abbildung 62).

Das Dimmen von Leuchtstoffröhren ist verlustbehaftet. Die Effizienz nimmt vor allem bei tiefem Dimmgrad stark ab. Als Faust-

formel gilt, dass eine auf 25 % Lichtstrom gedimmte Leuchtstofflampe noch 50 % der vollen Betriebsleistung aufnimmt. Dies ist zwar deutlich weniger als bei Glühlampen; dennoch ist es aus Gründen der Energieeffizienz nicht empfehlenswert, Leuchtstofflampen längere Zeit im Teillastbereich unter 50 % des Nennlichtstromes zu betreiben. In Korridoren von Büro- und Schulbauten werden häufig Leuchtstofflampen als Streiflichter eingesetzt. Weil die Lichtmenge für die Korridoranwendung bei einer dichten Reihung von Leuchtstoffröhren zu hoch ist, werden die

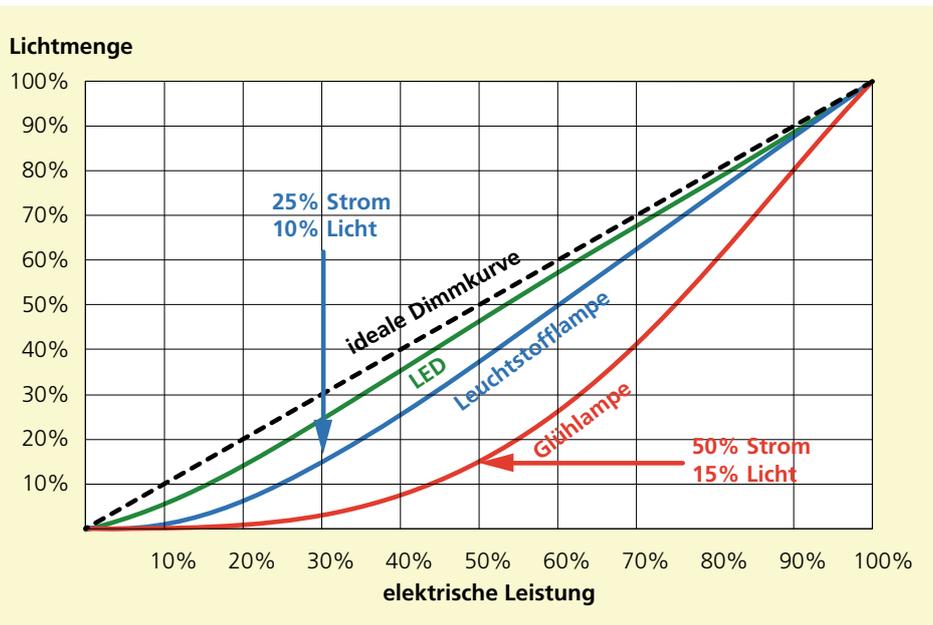


Abbildung 62:  
Dimmverhalten der  
drei Lampentypen

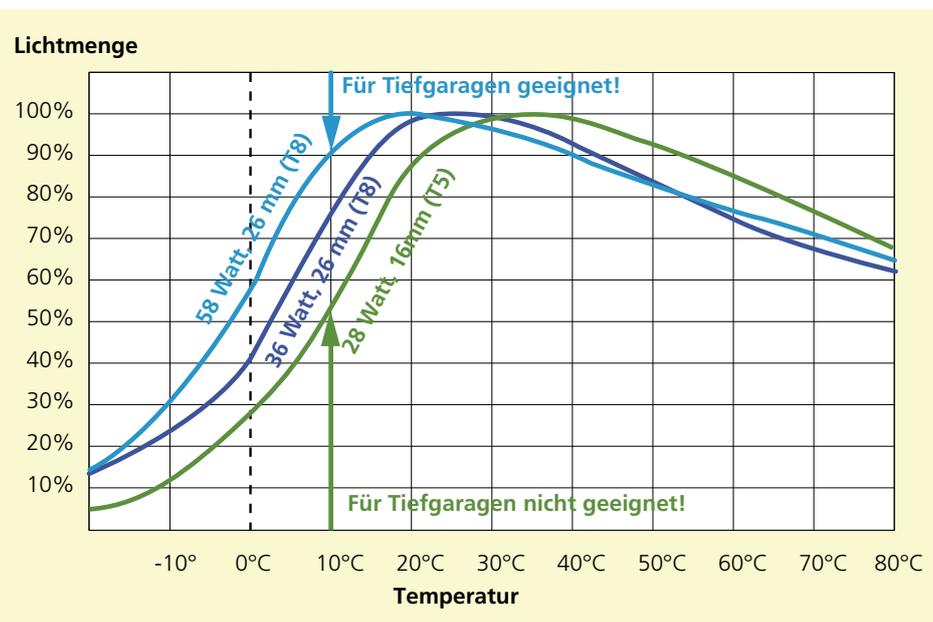


Abbildung 63:  
Von der Temperatur  
abhängige Licht-  
menge bei Leucht-  
stofflampen

Lampen konstant auf ein tieferes Niveau gedimmt. Dadurch nimmt die Effizienz der Röhren deutlich ab.

**Temperatureinfluss bei Leuchtstofflampen:** Das Betriebsverhalten von Leuchtstofflampen hängt stark von der Umgebungstemperatur ab. Ursache ist die Temperaturabhängigkeit des Quecksilberdampfdrucks in der Lampe. Bei tiefen Temperaturen ist dieser Dampfdruck zu niedrig, d. h. es sind nicht genügend Atome da, die ionisiert werden. Je nach Lampentyp ist zwischen 20 °C und 40 °C Glasktemperatur ein Maximum, bei dem die Lampe ihre höchste Lichtausbeute erreicht. Beim Einschalten einer Leuchtstofflampe ist der Lichtstrom auch bei 18 °C Raumtemperatur wesentlich geringer als nach einigen Minuten Betriebszeit, wenn die Lampe warm ist. Bei kurzzeitigem Einschalten, z. B. bei Minutereschaltern, wird der volle Lichtstrom deshalb meistens nicht erreicht, weshalb diese Betriebsweise problematisch ist (Abbildung 63). Bei niedriger Umgebungstemperatur oder bei Überhitzung aufgrund eines Wärmestaus in geschlossenen Leuchten erreicht die Lampe ihren Nenn-Lichtstrom nicht. Je nach Lampentyp ist die Temperaturcharakteristik anders; für die Konzeption von Leuchten ist deshalb auf diese Lampeneigenschaft zu achten.

### 3.4 Entladungslampen (Halogenmetaldampflampe)

Die Hochdruckentladungslampe wird heute oft für Laden- und Hallenbeleuchtung eingesetzt. Das Leuchtmittel zeichnet sich durch Kompaktheit, gute Richtbarkeit und gute Farbwiedergabe aus. Die fast punktförmige Lichtquelle erzeugt ein sehr brillantes Licht und wird auch im Automobilsektor eingesetzt. Durch den Einsatz von Keramikkolben ergibt sich eine lange Lebensdauer. Die Halogenmetaldampflampe ist nicht zu verwechseln mit der üblichen Halogenlampe, denn sie ist kein Temperaturstrahler, sondern eine Entladungslampe mit hohem Lampenwirkungsgrad. Nachteile dieser Leuchtmittel sind der hohe Preis sowie das Startverhalten. Die Lampe hat eine Startzeit von ca. 5 bis

10 Minuten. Die Hochdrucklampe wird häufig in Strahlern mit gebündeltem Licht eingesetzt. Dies ist möglich, weil die Hochdrucklampe einen sehr kleinen Brenner (Entladungsgefäß) und somit einen sehr kurzen, intensiven Lichtbogen hat. Durch die Kompaktheit dieses Leuchtmittels muss die direkte Einsicht unbedingt verhindert werden (Blendung). Für den Betrieb ist wie bei allen Entladungslampen ein Vorschaltgerät erforderlich.

### 3.5 Messen von Lampen

Der Lichtstrom eines Leuchtmittels lässt sich mittels der Ulbricht'schen Kugel messen. Mit dem Fotogoniometer lässt sich neben dem Lichtstrom zudem die Lichtverteilung messen.

#### Ulbrichtkugel

Friedrich Richard Ulbricht aus Dresden erfand um 1900 die nach ihm benannte Kugel. Es handelt sich dabei um eine innen mattweiss gestrichene Hohlkugel mit einem Durchmesser von 1 bis 3 Metern, die zur Bestimmung des Gesamtlichtstroms einer in der Mitte aufgehängten Lichtquelle dient. Das von der Lichtquelle abgegebene Licht wird an der Kugeloberfläche mehrfach reflektiert, so dass die gestreute Strahlung nahezu ideal diffus ist. In der Kugeloberfläche befindet sich eine kleine Öffnung, in die eine Milchglasscheibe ein-



Abbildung 64: Halogenmetaldampflampe 35 Watt, 3300 Lumen (Länge: ca. 10 cm)

Tabelle 38: Vor- und Nachteile von Halogenmetaldampflampen

Kriterium	Vorteil	Nachteil
Energieeffizienz	80 lm/W – 100 lm/W	
Lebensdauer	5000 h – 10 000 h	
Zahl der Schaltzyklen	begrenzt	
Anlaufzeit		mehrere Minuten
Dimmbarkeit		nein
Farbwiedergabe CRI	Delux-Lampen CRI = 90 (sehr gut)	Standardlampen CRI = 80 (gut)
Oberflächentemperatur		über 300 °C
Leistungsfaktor	über 0,9	
Entsorgung		Sondermüll (Quecksilber)
Anschaffungspreis		50 Fr. bis 500 Fr.
Betriebsenergie (1000 Lumen, 10 000 h)	150 kWh	
Herstellungenergie	2 kWh bis 3 kWh	
Leistungsbereich	3 W bis 100 W	

gesetzt ist. Die Leuchtdichte auf diesem Scheibenelement ist proportional dem Gesamtlichtstrom. Mit einem Lichtsensor lässt sich die Leuchtdichte bestimmen.

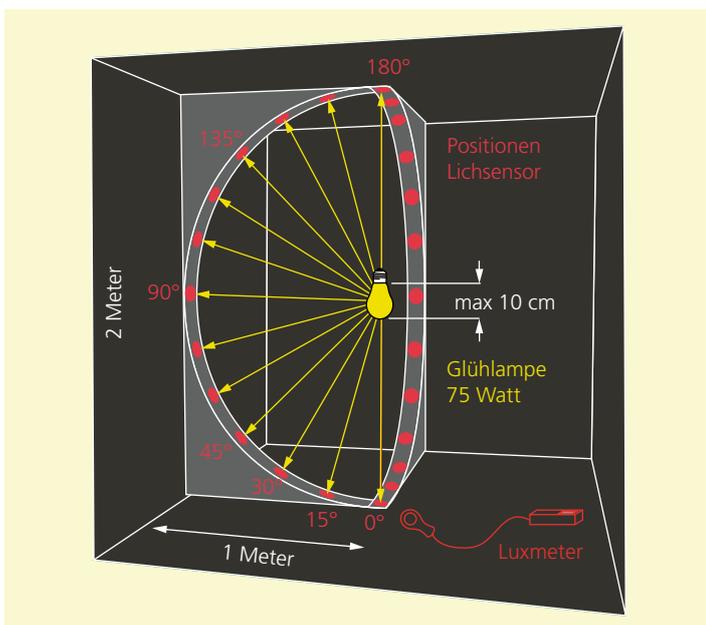
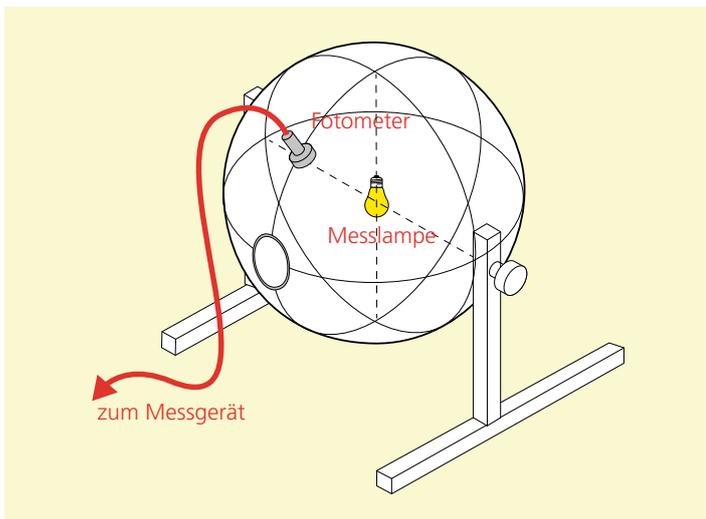
Da mit der Ulbricht'schen Kugel nur Gesamtlichtströme von Lichtquellen gemessen werden können und nicht die Lichtstärke in die unterschiedlichen Abstrahlrichtungen, wird statt der Kugel häufig ein Fotogoniometer verwendet.

Abbildung 65:  
Ulbricht'sche Kugel

### Fotogoniometer

Im Fotogoniometer wird die Lichtstärke einer Lichtquelle in alle Abstrahlrichtungen gemessen. Die Summierung der einzelnen Lichtstärken über den ganzen Raum ergibt die Lichtmenge. Zur Messung umkreist ein

Abbildung 66:  
Einfacher Aufbau  
eines Goniometers  
zur Lampenmes-  
sung



Lichtsensor die Lichtquelle nach einem vorgegebenen Winkelraster und liefert – je nach Messauflösung – bis zu 1752 Messpunkte und damit Werte von Lichtstärken. Aus den Messwerten lässt sich die räumliche Lichtverteilungskurve der Lichtquelle aufzeichnen; in der Praxis werden ein Längsschnitt und ein Querschnitt der Lichtverteilung dargestellt. Um hohe Messgenauigkeiten erreichen zu können, müssen strikte Anforderungen erfüllt sein:

- Der Raum ist weitgehend schwarz und nicht reflektierend.
- Die Raumlufttemperatur liegt mit kleiner Abweichung bei konstant 25°C.
- Die Lampe oder Leuchte darf vertikal, aber nicht horizontal gedreht werden.
- Die Distanz zwischen Lichtquelle und Sensor muss mindestens 10-mal grösser sein als die maximale Ausdehnung der leuchtenden Fläche der Lichtquelle. Für die Messung grösserer und asymmetrisch strahlender Lichtquellen (z. B. Leuchten mit Leuchtstoffröhren) führt die Distanzanforderung zu sehr grossen Messräumen, in denen die Einhaltung der übrigen Bedingungen sehr anspruchsvoll ist. Seit einigen Jahren kann dank hochpräziser Lichtsensoren und Computertechnik die Distanzanforderung gemildert werden. Mit einem Nahfeldgoniometer lässt sich die Messung in einem relativ kleinen Raum durchführen.

### Konstruktion und Anwendung eines einfachen Goniometers

Wenn man kleine Lichtquellen (Lichtkörper weniger als 10 cm) mit vertretbarer Genauigkeit auf einfache Art und Weise ausmessen möchte, kann der in Abbildung 66 gezeigte Messaufbau, der einem Mini-Goniometer entspricht, verwendet werden.

#### Konstruktion

- Benötigt wird ein verdunkelter, nicht reflektierender Raum (mindestens 2 m x 2 m x 2 m).
- Fertigung eines Halbbogens (oder 2, je einer für die Längs- und Quermessung, siehe Abbildung) mit einem Radius von 1 Meter (analog eines halben Loopings einer Spielzeugautorennbahn) und vertikale Montage desselben.

■ Montageeinrichtung für Lampe in der Mitte des «Loopings». Möglichst keine Verschattung des Lichtstroms durch die Befestigung!

■ Elektrischer Anschluss für die Lampe

■ Befestigungspunkte für Luxmeter-Sensor mit 15°-Winkelabstand. Wichtig: die Befestigungspunkte müssen genau im rechten Winkel zum Zentrum der Lampe angebracht sein.

■ Bei einer Messdistanz zwischen Lichtquelle und Lichtsensor von 1 Meter entspricht die Lichtstärke in Candela (cd) der Beleuchtungsstärke in Lux (lx).

### Messung in 6 Schritten

1. Messung der Beleuchtungsstärken an jedem der festgelegten Messpunkt, in der Abbildung total 13 mit einem Winkelabstand von 15°.

2. Drehung der Lichtquelle oder des Goniometers um 90° an der vertikalen Achse und Messung der Beleuchtungsstärken für alle 15°-Winkel in Querrichtung.

3. Mittelwertbildung der Messwerte von Längs- und Querrichtung.

4. Mittelwertbildung der Luxwerte für die 12 Zwischenwinkel, also zwischen 0 und 15° → 7,5°, zwischen 15° und 30° → 22,5° etc. bis 172,5°.

5. Für jeden Zwischenwinkel: Berechnung des beleuchteten Oberflächenteils der Kugel.  $2\pi \cdot [\cos(\alpha/180 \cdot \pi) - \cos(\alpha/2/180 \cdot \pi)]$ .  $\pi$  = Kreiszahl = 3,1416, z.B. für 7,5°:

Fläche =  $2 \cdot 3,14 [\cos(165/180 \cdot 3,14) - \cos(180/180 \cdot 3,14)] = 0,21 \text{ m}^2$ . Die Summe aller Teilflächen ergibt die Kugeloberfläche des Einheitskreises mit einem Radius von 1 Meter. Wenn mit den gegebenen 15°-Winkeln gearbeitet wird, müssen diese Werte nicht neu berechnet werden.

6. Für jeden Zwischenwinkel: Berechnung des Lichtstromanteils. Beleuchtungsstärke · Oberfläche, z.B. 7,5°:  $28 \text{ lx} \cdot 0,21 \text{ m}^2 = 6 \text{ Lumen (lm)}$ . Die Summe aller Lichtströme ergibt den Gesamtlichtstrom der Lichtquelle.

Schritt	Messwerte			Berechnung		
	1 Winkel	2 Beleuchtungsstärke quer (lx)	3 Beleuchtungsstärke längs (lx)	4 Mittelwert (lx)	5 Winkelkorrigierter Mittelwert (lx)	6 beleuchtete Fläche (m <sup>2</sup> )
0°	0	0	0	28	0,21	6
15°	55	57	56	62	0,63	39
30°	66	70	68	75	1,00	75
45°	83	81	82	83	1,30	107
60°	83	83	83	81	1,52	122
75°	79	77	78	77	1,63	124
90°	75	75	75	77	1,63	124
105°	77	79	78	81	1,52	122
120°	83	83	83	85	1,30	111
135°	86	88	87	88	1,00	88
150°	87	91	89	89	0,63	56
165°	86	87	88	87	0,21	19
180°	85	87	86			
				<b>Total</b>	<b>12,56</b>	<b>993</b>

*Tabelle 39:  
Berechnung des  
Gesamtlichtstroms  
einer 75-W-Glüh-  
lampe aus gemessenen  
26 Luxwerten*

### 3.6 Verbreitete Irrtümer über Sparlampen

Zum Thema Sparlampen kursieren Meinungen, die grundfalsch sind. Eine Auswahl:

■ **Behauptung 1:** Das Einschalten einer Leuchtstofflampe braucht mehr Energie als diese eine Stunde zu betreiben.

**Richtig ist:** Kein Mehrverbrauch an Energie aufgrund des Einschaltens! Abschalten bringt immer eine Reduktion des Stromverbrauches. Während der Zündzeit von kaum einer Sekunde würde der Stromverbrauch einer 36-Watt-Lampe, wie behauptet, zu einer Leistung von 130 000 Watt führen. Das hält keine Sicherung aus.

■ **Behauptung 2:** Häufiges Schalten von Sparlampen verkürzt deren Lebensdauer.

**Richtig ist:** Die Verkürzung der Lebensdauer aufgrund des Schaltens hängt von der Qualität der Lampe ab. Bei langlebigen Sparlampen (deklarierte Betriebsstunden ab 12 000 Stunden) ist eine Verkürzung für den praktischen Gebrauch irrelevant; solche Lampen lassen sich während 12 Jahren tagtäglich über hundert Mal ein- und ausschalten.

■ **Behauptung 3:** Leuchtstofflampen flimmern.

**Richtig ist:** Elektronische Vorschaltgeräte bringen moderne Leuchten mit einer Frequenz von 40 000 Hertz zum Leuchten. Frequenzen über 100 Hertz nimmt das menschliche Auge nicht wahr. Alte Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten flimmern dagegen mit 50 Hertz – für Menschen tatsächlich eine Zumutung.

■ **Behauptung 4:** Licht von Leuchtstofflampen wirkt kalt und matt.

**Richtig ist:** Lichtfarben und Lichtspektren lassen sich bei der Anschaffung einer Leuchtstofflampe wählen. 3-Banden-Lampen in den Lichtfarben «warmweiss» (Be-

zeichnung 830) oder extrawarmweiss (827) erzeugen Licht, das in seiner Farbwiedergabe dem Glühlampenlicht entspricht.

■ **Behauptung 5:** Leuchtstofflampen lassen sich nicht dimmen.

**Richtig ist:** Möglich ist die Regulierung der Helligkeit auch bei Leuchtstofflampen; dazu sind allerdings regulierbare elektronische Vorschaltgeräte notwendig. Zudem ist eine zusätzliche Steuerleitung notwendig. Für schraubbare Energiesparlampen sind einige wenige Typen verfügbar, die über handelsübliche Glühlampendimmer regulierbar sind.

■ **Behauptung 6:** Leuchtstofflampen sind teuer.

**Richtig ist:** Glühlampen sind lediglich in der Anschaffung billiger als Leuchtstofflampen, im Betrieb ist es umgekehrt. Im Gesamtkostenvergleich schneidet die Leuchtstofflampe deutlich günstiger ab. Bei Ersatz einer 100-Watt-Glühlampe durch eine Energiesparlampe mit dem gleichen Lichtstrom reduzieren sich die Stromkosten – über die Lebensdauer der Lampe gerechnet – um rund 100 Franken.

■ **Behauptung 7:** Niedervolt-Halogenlampen sind Sparlampen.

**Richtig ist:** Der Irrtum beruht auf einem Missverständnis. Nicht der Energieverbrauch der Lampe ist niedrig, sondern deren Spannung – deshalb die Bezeichnung «Niedervolt». Die geringe Spannung verlangt nach grossen Strömen in verhältnismässig dicken Kabeln. Eine 50-Watt-Halogenlampe hat zwar eine um 50 % bessere Lichtausbeute als eine Glühlampe, sie ist aber um den Faktor 3 schlechter als eine kompakte Leuchtstofflampe.

■ **Behauptung 8:** Sparlampen brauchen in der Herstellung viel Energie.

**Richtig ist:** Die Herstellung einer Sparlampe braucht knapp 4-mal soviel Energie wie die Herstellung einer Glühlampe. Da die Lebensdauer der Sparlampe aber rund 10-mal länger ist als die der Glühlampe, fällt die Gesamtenergiebilanz deutlich zu Gunsten der Sparlampe aus.



## Kapitel 4

# LED – Licht emittierende Dioden

## 4.1 Eigenschaften und Betriebsverhalten

Licht emittierende Dioden (LED) sind Halbleiterelemente, deren Funktionsweise man aus der Elektro- und Computertechnik kennt. LED nutzen denselben physikalischen Effekt wie die Solarzelle; allerdings in umgekehrter Richtung: (Sonnen-) Licht in Gleichstrom – die LED verwandelt Gleichstrom in Licht. Bereits um 1960 wurden die roten LED erfunden und als Leuchtanzeigen in Uhren und anderen Geräten eingesetzt. Zehn Jahre später folgten grüne und gelbe LED und erst in den 1990er Jahren kamen blaue LED auf den Markt. Um das Jahr 2000 gelang es, durch Leuchtstoffbeschichtung aus den blauen LED weisses Licht von guter Qualität zu erzeugen. Damit war der Grundstein für LED in der Raumbeleuchtung gelegt.

Die Energieeffizienz von LED erreicht heute in der praktischen Anwendung mit über 50 Lumen pro Watt mindestens das Niveau der Sparlampe. Die besten LED-Lampen erreichen bis zu 100 lm/W. Die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen; bis in 10 Jahren wird man mit weissen LED nochmals eine Verdoppelung oder Verdreifachung der Lichtausbeute erreichen.

Die LED-Technik wird die Beleuchtung in den nächsten 10 Jahren revolutionieren;

vergleichbar mit dem Ersatz der Schallplatte durch CD.

### Trends

Der Trend in der Beleuchtung wird in den nächsten Jahren ganz von LED bestimmt sein.

- Die Energieeffizienz wird sich in etwa noch verdoppeln auf ca. 150 Lumen pro Watt.

- Der Leistungsbereich wird ausgedehnt, so dass (fast) alle Beleuchtungsaufgaben mit LED gelöst werden können.

- Die Preise werden fallen; in welchem Masse und wie schnell, hängt von wirtschaftlichen und politischen Faktoren sowie der Verfügbarkeit der Rohstoffe ab; derzeit stammen 97 % der für LED notwendigen «Seltene Erden» aus China.

Neben der konventionellen LED-Technik sind intensive Arbeiten für OLED im Gange (Organische LED). OLED weisen gegenüber kristallinen LED Vor-, aber auch Nachteile auf:

- Vorteile:** weniger Materialbedarf, flächiges Licht auf dünnen Scheiben

- Nachteile:** geringerer Wirkungsgrad, kürzere Lebensdauer

Es gibt Visionen, die davon ausgehen, dass man in Zukunft OLED-Licht quasi wie eine

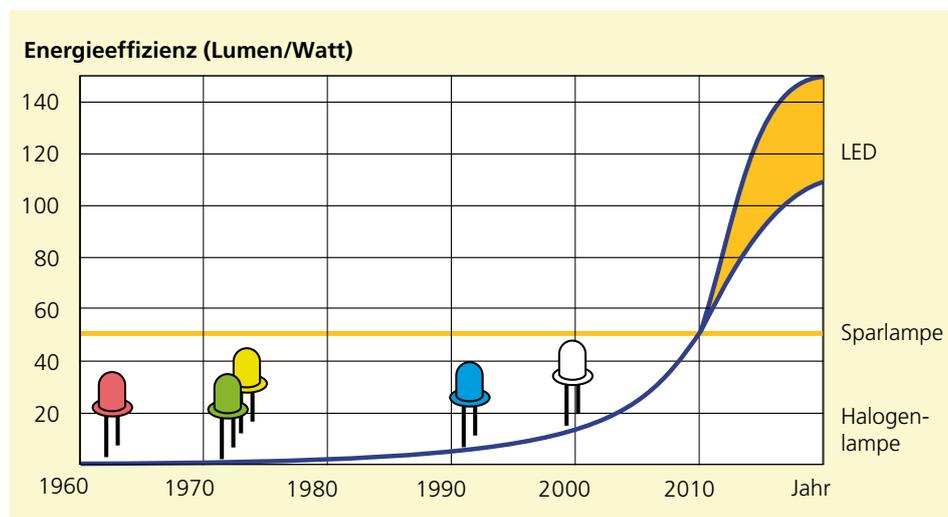


Abbildung 67:  
Entwicklung der  
Energieeffizienz  
von Leuchtdioden

Tapete auf Rollen kaufen und damit leuchtende Wände und Decken tapezieren kann. Die Realisierung dürfte aber noch eine Weile auf sich warten lassen. Aktuelle OLED sind maximal 10 cm auf 10 cm gross und haben eine Lichtausbeute, die mit 20 Lumen pro Watt im Bereich von Halogenlampen liegt.

### Metalle der Seltenen Erden

Die Metalle der Seltenen Erden kommen in vielen technischen und elektronischen Geräten zum Einsatz, namentlich in Energiesparlampen, LED, Fernsehgeräten, LCD- und Plasmabildschirmen, Akkus, Brennstoffzellen, Auto-Katalysatoren, Russpartikelfilter, Röntgenapparate, Laser, Glasfaserkabel, Magnete, Elektromotoren, Flugzeugmotoren, Atomreaktoren. Die oft verwendete abgekürzte Bezeichnung «Seltene Erden» statt «Metalle der Seltenen Erden» ist missverständlich. Der Name stammt aus der Zeit der Entdeckung dieser

Elemente und beruht auf der Tatsache, dass sie zuerst in seltenen Mineralien gefunden und aus diesen in Form ihrer Oxide (früher «Erden» genannt) isoliert wurden. Zu den Metallen der Seltenen Erden gehören folgende chemischen Elemente der 3. Gruppe des Periodensystems: Scandium (Ordnungszahl 21), Yttrium (39), Lanthan (57), Cer (58), Praseodym (59), Neodym (60), Promethium (61), Samarium (62), Europium (63), Gadolinium (64), Terbium (65), Dysprosium (66), Holmium (67), Erbium (68), Thulium (69), Ytterbium (70) und Lutetium (71).

Die weltweit geförderte Menge lag im Jahr 2008 bei 124 000 Tonnen. China förderte im Jahr 2006 rund 119 000 Tonnen und dominiert den Markt absolut (2007: 95 % des Weltmarkts, 2010: 97 %). China drohete die Exportmenge an Seltenen Erden. Für einige Metalle soll ein komplettes Exportverbot gelten (Yttrium, Thulium und Terbium) und für Neodym, Lanthan, Cer und Europium eine Exportquote von 35 000 Tonnen. China möchte mit dieser Politik erreichen, dass die Produktion von Schlüsseltechnologien im eigenen Land durchgeführt wird. Der Abbau von Vorkommen Seltener Erden ist sehr kostenintensiv. Mittels Säuren werden die Metalle aus den Bohrlöchern gewaschen. Der dabei vergiftete Schlamm bleibt – insbesondere in China – oft zurück und belastet die Umwelt erheblich.

Abbildung 68:  
Langfristiger Trend  
mit organischen  
LED (OLED)



Land	Abbau 2006 (t)	Abbau 2007 (t)	Abbau 2008 (t)	Abbau 2009 (t)	bekannte Reserven (t)
China	119 000	120 000	120 000	120 000	36 000 000
Indien	2 700	2 700	2 700	2 700	3 100 000
Brasilien	730	730	650 t	650	48 000
Malaysia	200	200	380 t	380	30 000
GUS-Staaten	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	19 000 000
USA	0	0	0 t	0	13 000 000
Australien	0	0	0 t	0	5 400 000
andere	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	22 000 000
Gesamt	123 000	124 000	124 000	124 000	98 600 000

Abbildung 40:  
Abbau und Vor-  
kommen der Me-  
talle der Seltenen  
Erden

## 4.2 Vorteile der LED

Leuchtdioden haben im Vergleich zu herkömmlichen Leuchtmitteln eine Reihe von Vorteilen; diese machen sie bereits heute – trotz hoher Preise – für bestimmte Anwendungen interessant.

■ **Keine Infrarot-Abwärme und kein Ultraviolettanteil im Lichtstrahl:** Vor allem in Verkaufsläden und in Museen ist dieser Umstand ein grosser Vorteil, werden doch die beleuchteten Waren und Exponate vor Alterung geschont.

■ **Kompakte Bauweise:** Dadurch können filigrane Lampen- und Leuchtenformen entwickelt werden, die auch bei sehr geringem Platzangebot eingesetzt werden können.

■ **Brillantes Licht:** LED-Lampen geben ein punktförmiges und brillantes Licht ab; daher können sie als idealer Ersatz für die beliebte Halogentechnik eingesetzt werden.

■ **Hohe Effizienz:** Bereits heute sind LED-Lampen so effizient wie Sparlampen; in den nächsten Jahren ist noch mit mindestens einer Verdoppelung der Effizienz zu rechnen.

■ **Lange Lebensdauer:** Bei einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 1000 Stunden pro Jahr, leisten LED-Lampen während 20 bis 30 Jahre ihren Dienst. Voraussetzung für eine lange Lebensdauer ist eine gute Qualität der beteiligten Komponenten und eine ausreichende Kühlung.

■ **Sofortstart:** Im Gegensatz zu Sparlampen geben LED-Lampen nach dem Einschalten sofort die volle Lichtmenge ab.

■ **Gute Dimmbarkeit:** Die meisten LED-Lampen lassen sich dimmen. Im Gegensatz zu allen anderen Lichtquellen, verlieren LED beim Dimmen nicht an Effizienz; einige Bauarten sind bei Teillast sogar noch effizienter.

■ **Farbmodulation:** Eine Spezialität von LED ist die Farbmodulation. Es kann prinzipiell jede gewünschte Farbe erzeugt werden, ob Weissstöne (warmweiss, kaltweiss) oder satte Farben wie rot, grün und blau. Bei aufwändigen LED-Leuchten ist die Lichtfarbe nicht ab Fabrik vordefiniert, sie kann per Fernbedienung (oder Iphone-Applikation) beliebig gewählt werden.

### Dimmen von LED

Im Gegensatz zu Glühlampen und Leuchtstofflampen lassen sich LED verlustfrei oder sogar effizienzsteigernd dimmen. Es sind zwei Verfahren bekannt, um LED zu dimmen (Abbildung 69).

### PWM-Verfahren

Mit der Pulsweitenmodulation wird der Strom mit sehr schnellen Schaltungen getaktet, also ein- und ausgeschaltet. Die Schaltungen werden mehrere 10 000-mal pro Sekunde vorgenommen, so dass kein Flimmern wahrnehmbar ist. Auf diese

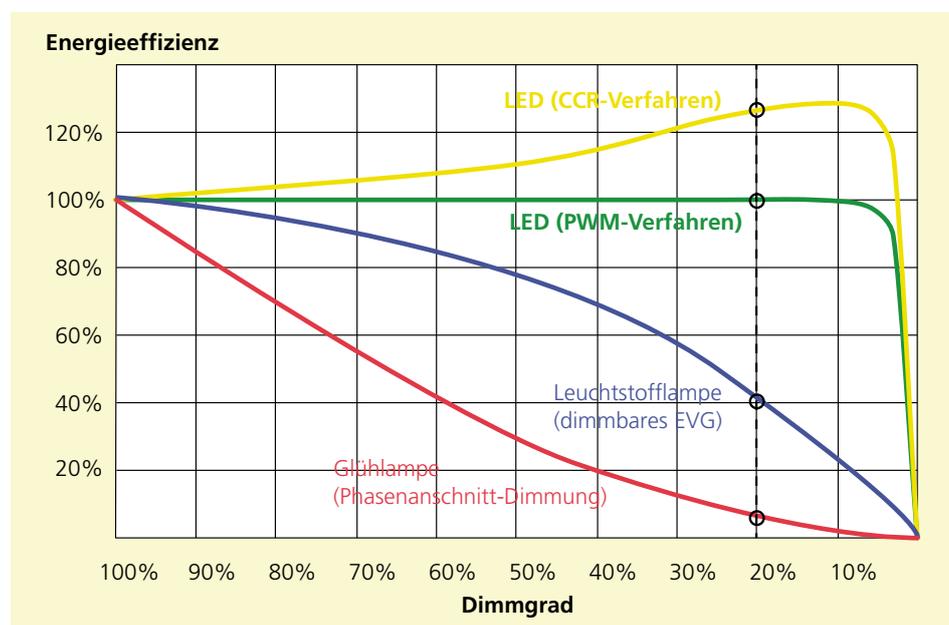


Abbildung 69: Energieeffizienz in Abhängigkeit des Dimmgrades von LED-Lampen im Vergleich zu Leuchtstoff- und Glühlampe

Weisse lassen sich LED bis auf wenige Prozente ihrer vollen Leistung praktisch verlustfrei dimmen. Dabei ist der Eigenverbrauch der Elektronik zu berücksichtigen; bei geringem Dimmgrad fällt dieser mehr ins Gewicht, die Dimmung ist also dennoch nicht ganz verlustfrei. Mit PWM-Dimmung bleibt die Farbwiedergabeeigenschaft der LED fast unverändert.

### CCR-Verfahren

CCR steht für «Constant Current Reduction» und nutzt den Vorteil, dass LED bei Reduktion des Stromflusses gegenüber Volllast effizienter werden. Aus Sicht der Energieeffizienz ist dieses Verfahren dem PWM-Verfahren vorzuziehen; allerdings verändern sich die Farbwiedergabeeigenschaften bei der CCR-Dimmung von LED stärker als beim PWM-Verfahren. Am Markt sind bisher allerdings kaum Betriebsgeräte für CCR-Dimmung verfügbar, sodass dieses effizientere Dimmverfahren bislang nur selten zur Anwendung kommt.

### Effizienz beim Dimmen (Lesebeispiel):

Bei einer Dimmung auf 20 % der vollen Lichtmenge geben LED-Lampen 25 % mit CCR-Dimmung (125 % von 20 %) und 20 % mit PWM-Dimmung des Lichtes ab; bei Leuchtstofflampen dagegen sind es nur 8 % (40 % von 20 %) und Glühlampen weniger als 2 %. Dies heisst konkret, dass eine Glühlampe mit einer Effizienz von 12 Lumen pro Watt bei 20 %-Dimmung eine Effizienz nur noch von 1 Lumen pro Watt ausweist.

### Farbmodulation bei LED

Eine weitere herausragende Eigenschaft von Leuchtdioden ist die Möglichkeit, jede beliebige Lichtfarbe zu erzeugen, ohne dazu verlustbehaftete Filter zu verwenden. Besonders interessant ist diese Farbmodulation, wenn es darum geht, verschiedene Weisstöne zu erzeugen. Zwar lassen sich Weisstöne – wie alle anderen Farben – aus der Mischung der Grundfarben Rot, Grün und Blau (RGB) generieren. Wenn aber eine hohe Farbwiedergabe gefragt ist, reicht die RGB-Mischung nicht aus. Bei der qualitativ hochwertigen Farbmischung werden als Basis meist kaltweisse LED verwendet. Diese werden mit gelben oder roten LED gepaart und das Licht der verschiedenfarbigen LED über einen Diffusor vermischt. Durch unterschiedliche Helligkeitsansteuerung der weissen und andersfarbigen LED werden verschiedene Weisstöne mit hohem Farbwiedergabeindex generiert. Vor allem bei Strahlern und Downlightern kommt dieses Verfahren zur praktischen Anwendung. Mit dem PAL-System von Regent (PAL: Perception Adaptive Lightsource) können mit dem erwähn-

Abbildung 70: Schnitt durch «Panos Infinity» von Zumtobel mit Cree-True-White-Technik

Abbildung 71: Warmes, neutralweisses und kaltweisses LED-Licht aus derselben Leuchte (PAL-Technik, Regent)



ten Verfahren alle Weissstöne zwischen 2700 und 6500 Kelvin bei gleichbleibender hoher Farbwiedergabequalität mit einer einzigen Lichtquelle erzeugt werden. Mittels eines einfachen Tasters können die Farben jederzeit verändert werden. Sollen zum Beispiel in einem Modegeschäft blaue Kleider verkauft werden, so wird der LED-Strahler auf kaltes Weiss eingestellt, was zur Folge hat, dass die blauen Farben intensiv leuchten. Sollen rote Strümpfe hervorgehoben werden, wird der LED-Strahler auf warmweiss eingestellt.

Auch für den Lebensmittelhandel ist der farbvariable LED-Strahler interessant. So können die verschiedenen Auslagen mit verschiedenen Farben zur Geltung gebracht werden. Käse mit Käsegelb, Brot mit Semmelbraun, Fleisch mit Fleischrot und Fisch mit einem rosa-bläulichen Farbton. Diese Farbmanipulation der Lichtquellen zur Verkaufsförderung ist nicht neu, doch musste man bisher spezielle Filter einsetzen, die viel Licht schluckten. Mit LED funktioniert dies ohne Filter und ohne Effizienzverlust (Abbildung 71).

Eine weitere interessante Anwendung liegt bei der Mischung von kaltweissen und roten LED zur Erzeugung von warmweissem Licht mit hoher Effizienz. Allgemein sind warmweisse LED weniger effizient als kaltweisse (wegen der «dickeren» Leuchtstoffbeschichtung). Mischt man über einen Diffusor sehr effizientes kaltweisses LED-Licht mit ebenso effizientem roten LED-Licht, lässt sich warmweisses Licht von hoher Qualität und hoher Effizienz erzeugen. Ein Beispiel dafür sind die Downlighter «Panos Infinity» der Firma Zumtobel; die warmweissen Leuchten erreichen mit bis zu 77 Lumen pro Watt und einem sehr guten Farbwiedergabeindex eine doppelt so hohe Energieeffizienz wie vergleichbare Downlighter mit Kompaktleuchtstofflampen (Abbildung 70).

### 4.3 Herausforderungen Energieeffizienz

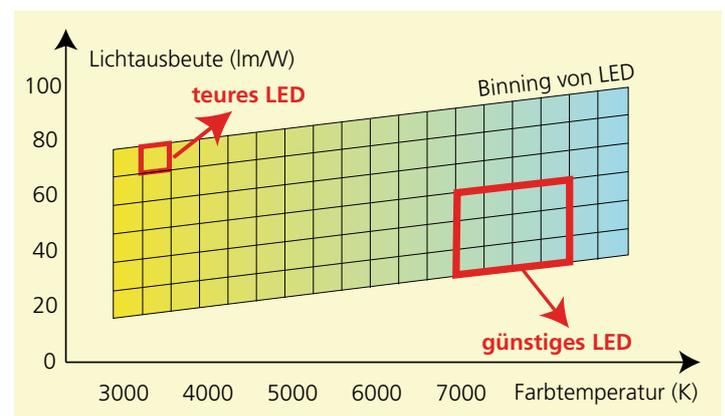
Bezüglich der Lichtausbeute (Energieeffizienz) von Leuchtdioden gibt es grosse Unterschiede, die mit der Lichtqualität aber auch mit der Preisstrategie der zahlreichen Anbieter zu tun hat. Der Preis ist zwar ein wichtiger Faktor, es kann aber nicht generell vorausgesetzt werden, dass teure LED besser sind. Die LED-Grundbausteine – die leuchtenden Halbleiter-Kristalle – werden am Markt in den verschiedensten Qualitäten angeboten; für die Einteilung werden Binning-Systeme (Bin: englisch für Kasten) verwendet. Jede LED wird einem Bin zugeordnet, das verschiedenen Qualitäten ausweist, wie z. B. Farbtemperatur, Energieeffizienz aber auch Toleranzen.

■ Beispiel für eine teure LED: ein LED-Chip mit hoher Lichtausbeute, warmweisser Farbtemperatur, hohem Farbwiedergabeindex und geringen Toleranzen dieser Werte innerhalb desselben Bins.

■ Beispiel für eine günstige LED: ein LED-Chip mit tiefer bis mittlerer Lichtausbeute, kaltweisser Farbtemperatur, niedrigem Farbwiedergabeindex und hohen Toleranzen dieser Werte innerhalb desselben Bins.

Ein zentrales Problem im LED-Markt ist die enorme Vielfalt an Bins. Zudem setzen Hersteller auch verschiedene Binning-Systeme ein. Eine Standardisierung und Beschränkung der Bins auf eine überschaubare Anzahl Typen fehlt bis heute. Für die Hersteller qualitativ hoch stehender LED-Komponenten ist es schwierig, gute Bins am Markt einzukaufen. Für den Massenmarkt können wiederum LED in grossen

**Abbildung 72:**  
Das «Bin» bestimmt  
Effizienz, Toleranzen und Preis



Mengen und zu günstigen Preisen erworben werden: Dieses Sammelsurium an LED mit unterschiedlichsten Lichtfarben und Lichtmengen werden in Lampen verbaut, die billig auf den Markt kommen und der jungen LED-Technik ein schlechtes Image verschaffen (Abbildung 72).

### Lebensdauer

Als Vorteil von LED wird meist die lange Lebensdauer erwähnt, welche die LED zum heutigen Zeitpunkt erst konkurrenzfähig macht. Die Lebensdauer ist somit ein Schlüsselkriterium – aber auch eine Herausforderung beim Design und der Konstruktion einer LED-Lampe oder Leuchte. Zwar erreichen die heutigen LED-Module eine typische Lebensdauer von 30 000 bis 50 000 Stunden, allerdings nur wenn das Temperaturmanagement stimmt und das nötige Betriebsgerät ebenfalls aus entsprechend guten Komponenten aufgebaut ist. Wärmeabgabe und Lebensdauer gehören bei LED zusammen; übersteigt die Chip-Temperatur eine bestimmte Grenze (z. B. 80 °C, je nach Typ), geht die Lebensdauer stark zurück. Lebensdauerrückgang heisst bei den Leuchtdioden eine kontinuierliche Abnahme der Lichtabgabe; in der Regel bedeutet 50 000 Stunden Lebensdauer einen Rückgang der Lichtmenge um 30 %. Bei überhitzten LED sinkt die Lichtmenge sehr rasch ab oder es führt zur totalen Zerstörung der Lampe.

Damit die LED-Lampe nicht überhitzt wird, braucht sie einen Kühlkörper. Dieser muss die Wärme, die auf der Rückseite des Chips entsteht, abführen – auf der Vorder-

seite, im Lichtstrahl, entsteht keine Wärme! Der Chip eines 1-Watt-Power-LED hat eine Fläche von ca. 1 mm<sup>2</sup>; diese kleine Fläche wird 80 °C und heisser. Um die Wärme abzuführen, ist eine Kühlfläche vom mehreren Quadratzentimetern notwendig. Man erkennt schnell, dass eine LED-Lampe mit 5 Watt, 10 Watt oder 30 Watt eine grössere metallene Fläche braucht, damit der Chip nicht überhitzt wird. Wenn Leuchtdioden direkt in einer Leuchte integriert sind, ist der metallene Leuchtenkörper ideal zur Abführung dieser Wärme. Bei kompakten Spotlampen oder Retrofit-Lampen müssen dafür eigentliche Kühlrippen vorgesehen werden.

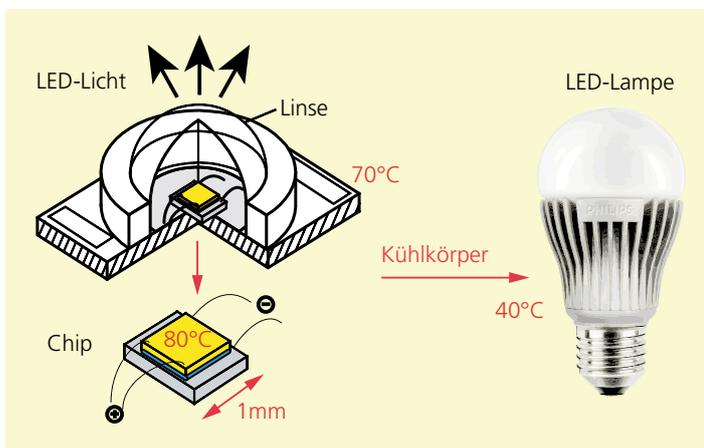
Neben der Wärmeabgabe ist auch die Qualität des Betriebsgerätes wesentlich für eine lange Lebensdauer. Sehr kleine Betriebsgeräte (in kleinen Lampen) sind grundsätzlich anfälliger auf Defekt als grössere. Letztlich kommt es aber auf die einzelnen Bauteile und deren Verarbeitung an. Von aussen sieht man einer Lampe nicht an, ob das Betriebsgerät gut ist, man ist also auf die Vertrauenswürdigkeit des Anbieters bzw. der Marke des Produktes angewiesen (Abbildung 73).

### Farbwiedergabe

Die Beurteilung der Licht- und Farbqualität von Lichtquellen richtet sich nach den Kriterien Farbspektrum, Farbtemperatur, Farbraum und Farbwiedergabeindex.

Während die Aspekte der Lichtfarbe bei der Glühlampentechnik physikalisch bedingt und nur wenig beeinflussbar und bei Leuchtstofflampen zwar variabel, aber klar standardisiert sind, besteht bei LED ein unüberschaubares Angebot. Jede LED-Lampe gibt ein anderes Licht ab, sei es in Bezug auf Lichtfarbe, Farbtemperatur oder Farbspektrum. Dies macht einen Austausch einer defekten Lampe zu einer Herausforderung, sofern ein einheitliches (weisses!) Licht gewünscht ist und keine Christbaumbeleuchtung. Den Farbaspekten kommt deshalb bei der Anwendung von LED eine zentrale Bedeutung zu.

**Abbildung 73:**  
Thermomanagement und Qualität des Betriebsgerätes bestimmen die Lebensdauer



### Farbspektrum

Die verschiedenen Lichtquellen, denen der Mensch ausgesetzt ist, haben unterschiedliche Farbzusammensetzungen. Zwar sind diese Kombinationen als weisses Licht wahrnehmbar, allerdings mit grossen Differenzen. Wenn man die Lichtquellen mit einem Farbspektrometer analysiert, werden diese Unterschiede evident. In den in den Abbildung 74 bis Abbildung 78 dargestellten Farbspektren ist die V-Lambda-Kurve überlagert, welche die Empfindlichkeit des menschlichen Auges auf die verschiedenen Farbtöne aufzeigt.

■ Tageslicht hat ein lückenloses Farbspektrum; alle Farben von blau über grün, gelb und rot sind vorhanden. Der Blauanteil dominiert (Abbildung 74).

■ Glühlampenlicht ist quasi das Gegenteil von Tageslicht; es hat zwar auch ein lückenloses Farbspektrum, es dominiert aber der Rotanteil im Licht (Abbildung 75).

■ Das Licht von Sparlampen (und allen anderen Entladungslampen) hat ein lückenhaftes Farbspektrum. Die Grundfarben sind zwar vorhanden, verschiedene Zwischentöne aber schwach oder gar nicht sichtbar. Für professionelle Anwendungen gibt es auch Leuchtstofflampen, deren Spektrum nur kleine Lücken ausweist. Diese Lampen sind am besseren Farbwiedergabeindex von 90 statt 80 bei normalen Sparlampen zu erkennen (Abbildung 76).

■ LED-Licht ist besser als Sparlampenlicht, das Spektrum ist vollständig. Zwischen Blau und Grün haben jedoch alle LED-Lampen ein «Loch im Spektrum»; dieses rührt von der Transformation der blauen LED mittels Leuchtstoffen ins sichtbare weisse Licht. Je kleiner dieses Loch ist, desto besser ist die Farbwiedergabe der LED-Lampe (Abbildung 77 und Abbildung 78).

### Farbtemperatur

Die Farbtemperatur gibt den «Weissegrad» einer Lichtquelle an. Dieser wird in Kelvin quantifiziert. (0 Kelvin =  $-273^{\circ}\text{C}$ ).

■ Der Wolframdraht einer Glühlampe wird auf 2700 Kelvin (also  $2427^{\circ}\text{C}$ ) aufgeheizt und gibt dadurch sein typisches warmweisses Licht ab.

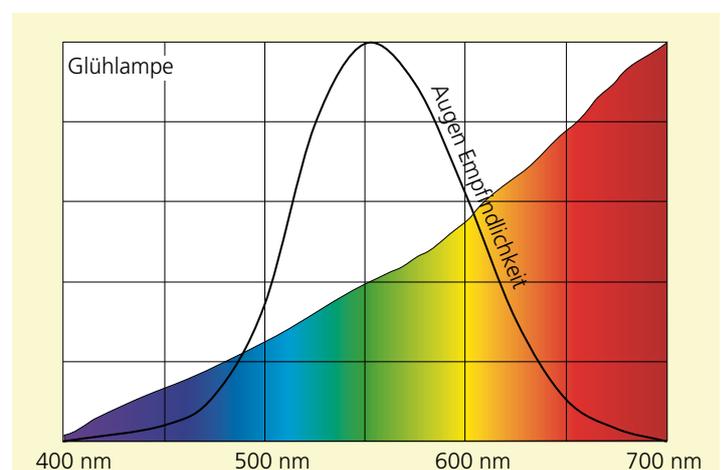
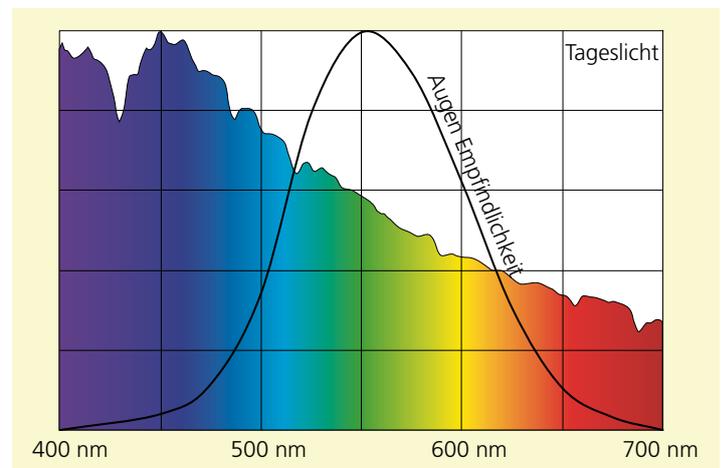
■ Auf der Sonnenoberfläche herrscht eine Temperatur von rund 6500 Kelvin. Man nennt diese Farbtemperatur also Tageslichtweiss.

■ Bei LED und Leuchtstofflampen können verschiedene Farbtemperaturen gewählt werden, welche durch Beschichtung mit unterschiedlichen Leuchtstoffen erreicht wird; mit der tatsächlichen Temperatur wie bei den Temperaturstrahlern hat die Farbtemperatur bei solchen Lampen aber nichts zu tun. In öffentlichen Gebäuden werden oft neutralweisse Lampen mit 4000 Kelvin eingesetzt.

■ Während die Farbtemperaturen bei Leuchtstofflampen standardisiert sind (2700 K, 3000 K, 4000 K und 6500 K), sind bei LED fast alle Farben zwischen 2500 und 6500 Kelvin erhältlich. Eine Standardisierung wie bei den Leuchtstofflampen fehlt noch.

Abbildung 74:  
Farbspektrum von  
Tageslicht

Abbildung 75:  
Farbspektrum einer  
Glühlampe



Die Farbtemperatur ist kein Qualitätsmerkmal einer Lichtquelle. Im Volksempfinden wird kaltes Licht oft als schlechtes Licht interpretiert, obwohl die Farbtemperatur eines Leuchtmittels mit dessen Farbwiedergabeeigenschaft nichts zu tun hat. Der Grund liegt bei der subjektiven Wahrnehmung: Das sehr kalte Licht der Sonne wird

bei einer enormen Helligkeit abgegeben; dieselbe Farbtemperatur bei Zimmerhelligkeit empfinden aber vor allem Menschen in nördlichen Länder als unangenehm. In südlichen Ländern geben z.B. tageslichtweisse Sparlampen kein Anlass zu Reklamationen. Warmes Licht entspricht der Farbe des Feuers; es wird vor allem von Menschen in kälteren Regionen der Erde als angenehm wohligh empfunden.

Mit einer interessanten Methode stellt die amerikanische LED-Firma Cree sicher, dass auch warmweisse LED-Lampen eine hohe Effizienz und einen hohen Farbwiedergabeindex (über 90) haben und gleichzeitig eine genau definierte und stabile Farbtemperatur. Cree nimmt tageslichtweisse LED und mischt sie in einer Mischkammer mit roten LED zur gewünschten Farbtemperatur. Die unterschiedlichen Farbveränderungen der zwei LED-Farbtypen mit dem Alter werden über einen Sensor erfasst und über die eingebaute Elektronik ausgeglichen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass jederzeit eine neue Leuchte mit der exakt gleichen Lichtfarbe zugebaut werden kann. Ein zentrales Problem der LED-Technik mit den vielen Farbnuancen in den Weisstönen wird so elegant gelöst.

### Farbraum

Der Farbraum umfasst alle mit dem menschlichen Auge sichtbaren Farben des CIE-Normfarbssystem; dieses wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE – Commission internationale de l'éclairage) definiert, um eine Relation zwischen der menschlichen Farbwahrnehmung (Farbe) und den physikalischen Ursachen des Farbreizs (Farbvalenz) herzustellen.

Effektiv handelt es sich um einen dreidimensionalen Raum nach Rösch aus dem Jahre 1928. In der Fläche lassen sich nur zwei Dimensionen darstellen (Abbildung 79). Alle technisch realisierbaren Farbzeize, sowohl Lichtfarben als auch Körperfarben, liegen innerhalb der parabelartigen Farbfäche. Das Farbdreieck wird wegen seiner Form auch «Schuhsohle» oder «Hufeisen» genannt. Abhängig von der Beleuchtungssituation kann sich der Farbraum überall

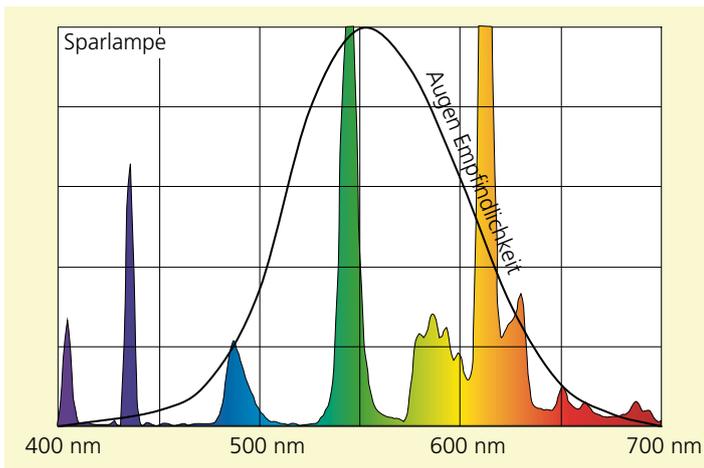


Abbildung 76: Farbspektrum einer normalen Sparlampe

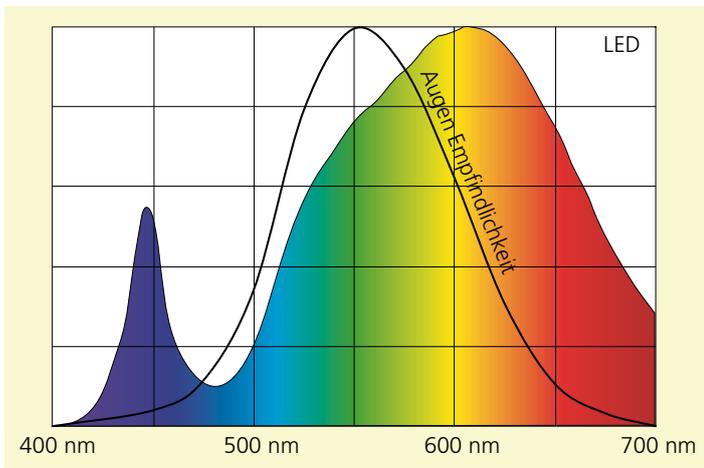


Abbildung 77: Farbspektrum einer guten LED-Lampe (CRI = 90)

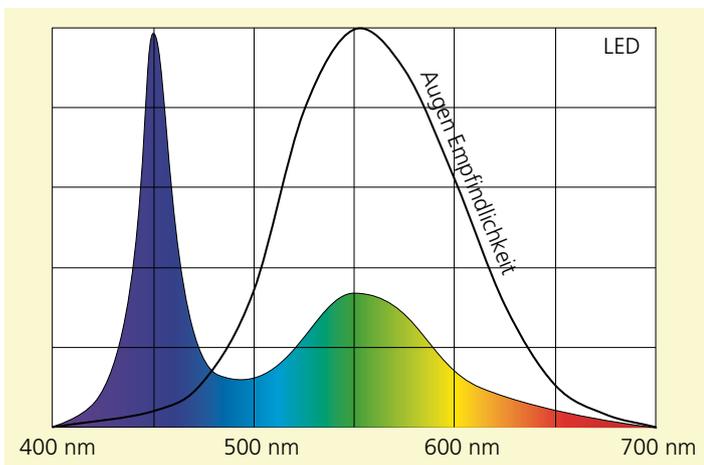


Abbildung 78: Farbspektrum einer schlechten LED-Lampe (niedriger CRI)

innerhalb des Hufeisens befinden. Technisch von Bedeutung ist die Black-Body Kurve. Auf deren Verlauf sind die Farben als Temperatur eines idealen Strahlers (schwarzer Körper) in Kelvin angegeben. Für jede Lichtquelle kann ein Farbraum im xy-Koordinatensystem angegeben werden. Bei guten Leuchtmitteln liegt der Farbraum auf der Black-Body-Kurve z. B. bei  $x = 0,45$  und  $y = 0,41$  (Glühlampe).

### Farbwiedergabeindex ( $R_a$ )

Die Farbwiedergabe-Eigenschaft einer Lichtquelle beschreibt die Qualität der Visualisierung von Objektfarben und wird als  $R_a$ -Index bezeichnet. Zur Bewertung der Farbwiedergabe verwendet man acht ausgewählte ungesättigte Farbtöne, vier gesättigte Farbtöne sowie ein spezielles Blattgrün und einen Farbton ähnlich dem der menschlichen Haut. Die Farbwiedergabe unter der zu bewertenden Lichtquelle wird für jedes dieser Farbmuster mit der beim Licht eines Temperaturstrahlers ähnlichsten Farbtemperatur (also etwa gleicher Lichtfarbe) verglichen. Der höchste Wert von  $R_a$  ergibt sich mit 100, wenn die betrachtete Lampe praktisch nicht von der Bezugsquelle abweicht. Mit dieser Lampe beleuchtet, können alle Farben eines Gegenstandes erkannt werden und erscheinen einem Betrachter als «natürlich». Je mehr der Farbwiedergabeindex  $R_a$  von 100 nach unten abweicht, um so schlechter werden Farben auf beleuchteten Gegenständen wiedergegeben.

Als Farbwiedergabeindex  $R_a$  einer Lichtquelle (oder CRI für Color Rendering Index) wird in der Regel der Mittelwert der acht ungesättigten Farben angegeben. Liegt der Wert über 80 spricht man von einer guten Farbwiedergabe; über 90 von einer sehr guten. Die gesättigten Farben, der Hautton und das Blattgrün werden oft nicht verwendet, wobei diese vor allem bei LED-Lampen eine wichtige Rolle spielen. Der Wert 9 (gesättigtes Rot) sagt bei LED-Lampen aus, wie halogenähnlich die LED-Lampe ist; mindestens das gesättigte Rot sollte also bei LED speziell geprüft werden.

Abbildung 79: Farbdreieck (Schuhsohle) mit den für das Auge sichtbaren Farben. Vergleiche auch Abbildung 79

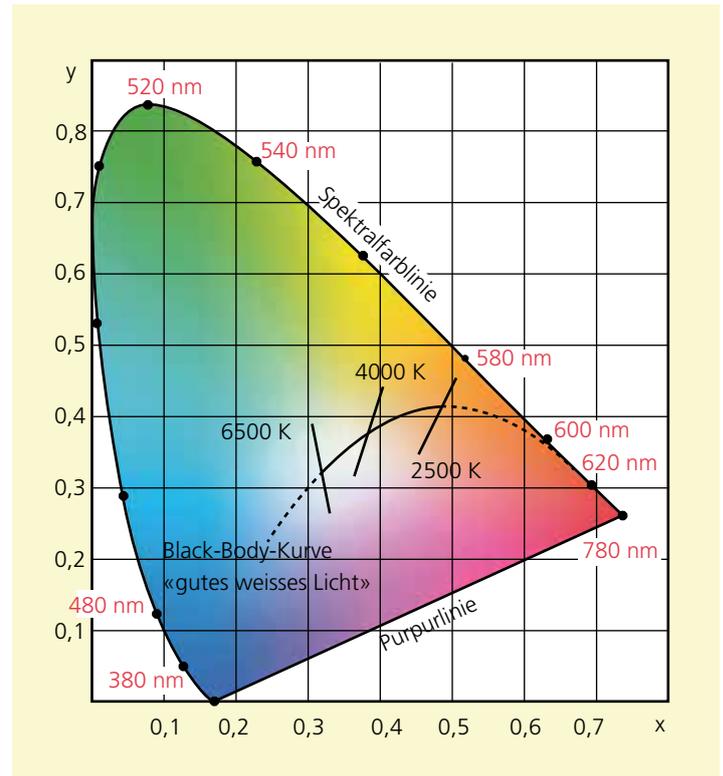


Abbildung 80: Testfarben des Farbwiedergabeindex (nach DIN 6169)

$R_1$	Altrosa	$R_9$	Rot gesättigt
$R_2$	Senfgelb	$R_{10}$	Gelb gesättigt
$R_3$	Gelbgrün	$R_{11}$	Grün gesättigt
$R_4$	Hellgrün	$R_{12}$	Blau gesättigt
$R_5$	Türkisblau	$R_{13}$	Rosa (Hautfarbe)
$R_6$	Himmelblau	$R_{14}$	Blattgrün
$R_7$	Asterviolett		
$R_8$	Fliederviolett		

#### 4.4 Produkte und Anwendungen

Für gewisse Anwendungen kann LED bereits heute als erste Wahl bezeichnet werden.

■ **Leseleuchten:** Während eine Halogenlampe im Betrieb sehr heiss wird, bleiben LED-Leuchten handwarm; bei Leseleuchten ist zudem die kompakte Bauform der LED ein grosses Plus – auch im Vergleich zu Leuchten mit Sparlampen.

■ **Pendelleuchten:** Das brillante Licht eignet sich bestens als Ersatz für die beliebten Halogenpendelleuchten über Esstischen und spart 80 % bis 90 % des Stromes ein. Die meisten Fachgeschäfte und Grossverteiler bieten bereits gute LED-Esstischleuchten an.

■ **Downlights:** Deckeneinbauleuchten in Wohn- und Geschäftshäusern sind eine attraktive LED-Lösung: 50 % Energieeinsparung gegenüber Sparlampen oder gar 80 % gegenüber Halogenlampen mit einer Amortisationszeit von nur 1 bis 2 Jahren.

■ **Strahler:** In Verkaufsläden ersetzen sie bisherige Halogenmetaldampflampen. Vor allem der wärmefreie Lichtstrahl und die niedrigen Unterhaltskosten, empfehlen die Strahler als Alternative.

■ **Lineare Leuchten:** Für Korridore in Bauten mit hochwertiger Architektur eine optimale Ersatzlösung für Lichtbänder mit Leuchtstoffröhren. Damit lässt sich im Vergleich zu Leuchtstofflampen rund 50 % Energie einsparen.

■ **Strassenleuchten:** Dank dem gerichteten LED-Licht kann neben der Energieeinsparung auch die unangenehme Blendung an den Fassaden der Wohnhäuser neben der Strasse eliminiert werden.

■ **Retrofit-Lampen:** Als Ersatz für herkömmliche Leuchten sind LED-«Glüh»-Lampen und LED-«Halogen»-Spots erhältlich. Diese sind zwar sehr gut und deutlich besser als Sparlampen; die Preise dieser Lampen sind aber weniger attraktiv als bei Leuchten mit fest eingebauten LED.

■ **Bedingt empfohlene Anwendungen:** Grundbeleuchtung in Büros und Schulzimmern, Stehleuchten, Strahler für Hallen und Sportstätten.



Abbildung 81:  
typische LED-  
Produkte

## 4.5 LED-Lampen im Test

Eigentlich ist die LED-Technik prädestiniert für integrale Lampen-Leuchten-Kombinationen. Wegen der langen Lebensdauer und der Notwendigkeit einer ausreichenden Kühlung macht es Sinn, LED-Module direkt im Leuchtenkörper zu integrieren und auf einen Wechselmechanismus mit den weit verbreiteten Sockeln (E27, GU10, weitere) zu verzichten. Doch wie oft bei einem grundlegenden Technologiewandel kommen neue Produkte zuerst in Gestalt des Bekannten auf den Markt: Die ersten Autos sahen aus wie Kutschen, die ersten Computer wie Schreibmaschinen und die ersten LED-Lampen wie Glühlampen.

Ein Test im Auftrag der Konsumentensendung «Kassensturz» des Schweizer Fernsehens zeigte, dass gute Produkte verfügbar sind, die ausreichend Licht für den Ersatz einer 60-Watt-Glühlampe erzeugen und damit eine echte Alternative zur ungeliebten Sparlampe bieten. Im Oktober 2010 wurden 14 marktgängige LED-Lampen mit Gewinden E27 und E14 im staatlichen Messlabor METAS in Bern ausgemessen und deren Deklaration auf Vollständigkeit und Korrektheit überprüft. Die Kriterien sind:

- Lichtmenge, elektrische Leistung und Lichtausbeute
- Farbtemperatur, Farbraum und Farbwiedergabeindex
- Leistungsfaktor
- Lichtverteilung (Vergleich zu Glühlampe)

Im Januar 2011 wurden die Resultate in der Sendung «Kassensturz» des Schweizer Fernsehens ausgestrahlt (Messresultat Abbildung 85 und Tabelle 44).

### Kommentar zu den Messresultaten

■ Die gemessenen Leistungen der 12 Retrofit-LED-Lampen weichen zwischen –19 % und +12 % von den deklarierten Nominalleistungen ab. Diese Unterschiede sind relativ gross; die Streuung bei Lampen des gleichen Bautyps dürfte ebenfalls gross sein. Das Phänomen der grossen Leistungsabweichung vom Nominalwert tritt im selben Masse auch bei Sparlampen auf, während bei Temperaturstrahlern (Glüh- und

Halogenlampen) die Leistungen meist relativ gut mit den deklarierten Standardwerten übereinstimmen.

■ Auch die **Lichtströme** weichen stark von der Deklaration ab. Besonders stark bei der LED-Lampe von Paulmann, die 34 % weniger Licht abgibt als dokumentiert. Aber auch die Lampe von Evenlight gibt deutlich weniger Licht ab als angegeben. Beide Lampen stammen aus unbekannter Fabrikation.

■ Die **Lichtausbeute** ist das Verhältnis zwischen Lichtstrom und Leistungsaufnahme. Den besten Wert weist mit 94 Lumen pro Watt die Maiskolben-Lampe «Maslux» von Onlux aus. Dieser Wert kann als absoluter Bestwert betrachtet werden und liegt deutlich über der Effizienz einer Sparlampe (ca. 60 Lumen pro Watt). Als gute Werte für LED-Lampen können Werte zwischen 50 bis 60 Lumen pro Watt betrachtet werden (Stand Januar 2011). Bei Lampen mit kleinen Leistungen kann auch ein Wert um 40 lm/W als gut bewertet werden. Bemerkenswert ist der Unterschied zwischen der höchsten (Onlux: 94) und der niedrigsten (Paulmann: 34) Effizienz von fast einem Faktor 3.

■ Häufig geschummelt wird bei der Angabe der **äquivalenten Glühlampenleistung**. Die Lampe «Evenlight» aus dem Online-Shop von VCS gibt vor, eine 60-Watt-Glühlampe zu ersetzen, gibt aber de facto nur Licht einer 30-Watt-Glühlampe ab. Ausser Philips machen alle Hersteller falsche Angaben. Ein Grund dürfte bei der Lichtverteilung liegen. Denn in Abstrahlrichtung geben die Lampen häufig sehr viel mehr Licht ab als seitlich (mehr darüber im Abschnitt «Lichtverteilung»).

■ Eine glühlampenähnliche **Farbtemperatur** um 2700 Kelvin bei LED ist machbar, verringert aber die Effizienz der Lampen. Kälteres LED-weiss ist effizienter, aber auch weniger heikel bezüglich der subjektiven Wahrnehmung. Warmweisse LED mit 2700 Kelvin können «seichgelb» wirken, eine LED mit 3300 K ist viel weniger anfällig auf einen unerwünschten Farbstich. Im Test konnten aber erfreulicherweise auch die 2700-Kelvin-Lampen durch gute Weiss-töne überzeugen.

<b>Philips 12 W 806</b>	<b>Philips 7 W</b>	<b>Philips 3 W Kerze</b>	<b>Osram 12 W 810</b>	<b>Osram 8 W</b>
				
<b>Osram 4 W Kerze</b>	<b>Toshiba 5,5 W</b>	<b>Paulmann 7 W</b>	<b>Ledon 10 W</b>	<b>Evenlight 5,5 W</b>
				
<b>Barthelme 7 W</b>	<b>Noser 3,5 W</b>	<b>Led-Fox 12 W</b>	<b>Maslux 8 W</b>	<b>Glühbirne 60 W</b>
				

		Philips 12W 806	Philips 7W	Philips 3W Kerze	Osram 12W 810	Osram 8W	Osram 4W Kerze	Toshiba 5,5W	Paulmann 7W	Ledon 10W	Evenlight 5,5W	Barthelme 7W	Noser 3,5W	Led-Fox 12W	Maslux8W	Glühbirne 60W
Leistung*	W	12,8	6,7	3,3	13,5	7,6	4,0	5,2	5,7	9,4	5,7	6,0	2,9	12,5	6,8	60,0
	W	12,0	7,0	3,0	12,0	8,0	4,0	5,5	7,0	10,0	5,5	7,0	3,2	12,0	8,0	
	%	+7	-4	+11	+12	-5	+1	-6	-19	-6	+4	-14	-10	+4	-15	
Lichtstrom*	lm	823	375	123	909	347	166	269	194	589	331	285	211	798	638	700
	lm	806	350	136	810	345	170	250	295	600	396	300	205		700	
	%	+2	+7	-9	+12	+1	-3	+8	-34	-2	-16	-5	+3		-9	
Effizienz*	lm/W	64	56	37	68	46	41	52	34	63	58	47	74	64	94	12
	lm/W	67	50	45	68	43	43	45	42	60	72	43	64		88	
	%	-5	+12	-18	+1	+7	-4	+14	-19	+5	-19	+10	+16		+7	
entspricht Glühlampe*	W	61	34	14	66	32	18	26	20	47	31	27	22	60	50	60
	W	60	32	15	60	40	25			60	60	40		100	75	
	%	+2	+5	-7	+10	-21	-30			-22	-49	-31		-40	-33	
Farbtempe- ratur*	K	2670	2703	2398	2722	3126	3082	2623	2516	2710	3415	3515	3295	3116	2873	2700
	K	2700	2700	2700	2700	3000	3000	2700	2500	2700	vw	3000	vw	vw	2850	
	%	-1	+0	-11	+1	+4	+3	-3	+1	+0		+17			+1	
Farbwiedergabe Ra		81	81	91	86	82	84	88	78	92	66	92	68	55	64	100
R9 (intensives Rot)		14	32	77	66	19	25	51	-10	86	-21	88	-22	-89	-54	
Leistungsfaktor		0,82	0,65	0,61	0,94	0,83	0,43	0,58	0,86	0,89	0,46	0,41	0,29	0,78	0,80	1,00
Dimmung		ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein	ja
Lichtanteil																
hinten	%	14	6	0	0	0	2	0	2	2	0	0	2	4	0	16
seitlich	%	61	52	61	38	39	68	25	35	16	27	34	68	64	80	52
vorn	%	25	42	39	62	61	30	75	65	82	73	66	30	32	20	32

\* 1. Zeile: deklarerter Wert, 2. Zeile gemessener Wert

■ Beim **Farbwiedergabeindex  $R_a$**  gilt ein Wert von 80 als gut; die meisten verwendeten Leuchtstofflampen weisen einen  $R_a$  von 80 auf. Glüh- und Halogenlampen zeigen den optimalen Wert von 100. Im LED-Test waren Lampen mit  $R_a$ -Werten zwischen 55 und 92 vertreten, also zwischen schlecht bis sehr gut. Auch wenn die Aussagekraft des  $R_a$ -Wertes in Fachkreisen immer wieder diskutiert wird, hilft er dennoch als brauchbares Vergleichsmass zwischen den sehr stark differierenden Messwerten von LED-Lampen. Für Experten gibt der  $R_g$ -Wert für intensives Rot weitere Hinweise zur Farbwiedergabequalität: Die Werte im Test variieren zwischen -89 (!) und +88. Ein hoher  $R_a$ -Wert für Rot ist ein gutes

Indiz, dass die LED-Lampe einer Glühlampe ähnlich ist.

■ Der **Leistungsfaktor** gibt das Verhältnis zwischen Wirkenergie und Scheinenergie an. Scheinleistung wird vom Elektrizitätswerk produziert. Sie kann aber nicht verbraucht werden. Ein Leistungsfaktor von 1 bedeutet, dass die Wirkleistung gleich der Scheinleistung ist und keine Blindleistung fließt. Die Lampen im Test weisen Leistungsfaktoren zwischen 0,29 und 0,89 auf. Gemäss der Europäischen Richtlinie 2005/32/EG für Haushaltslampen gelten für LED-Lampen keine Anforderungen, für Sparlampen bis 25 Watt ein Wert von mindestens 0,5, bei Lampen über 25 Watt mindestens 0,9. Für LED-Lampen sollte ein

Abbildung 82 (links): Die 14 LED- und 1 Glühlampen des Kassensturz-Tests.

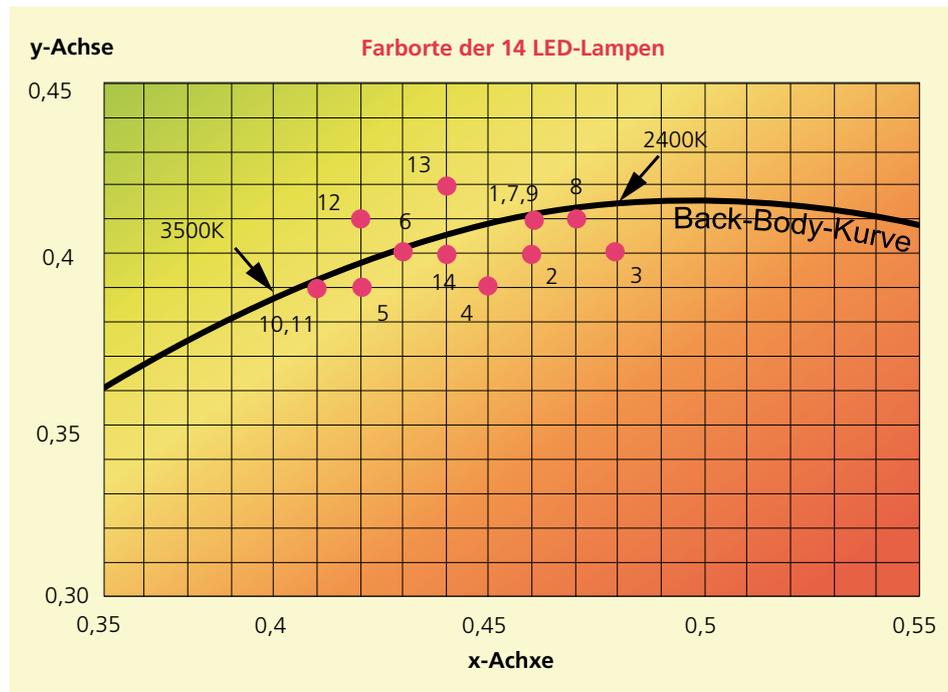


Abbildung 83: Farborte der 14 gemessenen LED-Retrofit-Lampen (Ausschnitt aus dem Farbdreieck)

Abbildung 84: Lichtverteilung von ausgewählten Retrofitlampen (Rot = LED, Blau = Glühlampe 60 Watt)

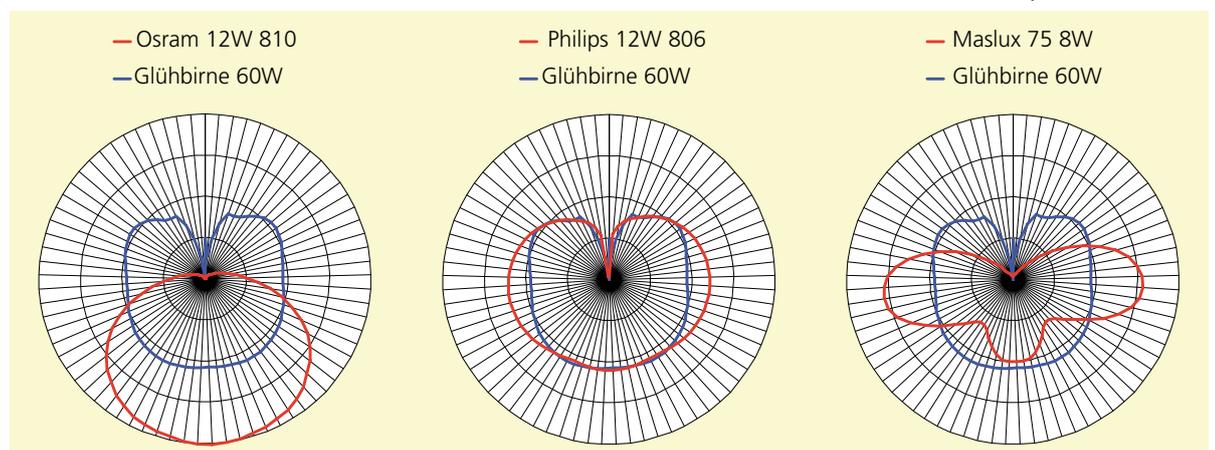


Tabelle 41 (links): Messresultate des LED-Tests

Wert von 0,9 angestrebt werden. Keine der gemessenen LED-Retrofit-Lampen erreicht diesen Zielwert.

### Lichtverteilung

Interessant ist der Vergleich der Lichtverteilungen der einzelnen LED-Lampen. Die meisten LED-Glühlampenersatzprodukte haben eine von der Glühlampe deutlich abweichende Lichtverteilung (Abbildung 83). Wird also eine LED-Lampe anstelle einer herkömmlichen Glühlampe in eine Leuchte eingeschraubt, so ist die Lichtwirkung in vielen Fällen völlig anders. Eine typische LED-Lampe, wie z. B. die Osram 12 Watt, gibt den grössten Teil des Lichts nach vorne ab; eingesetzt in einer Deckenpendelleuchte führt diese Lampe also zu einer Helligkeit am Boden, die ohne weiteres einer 100 Watt Glühlampe entspricht. Die Decke aber bleibt – im Vergleich zur 60 Watt Glühlampe – im Dunkeln. Anders bei der 12-Watt-LED-Lampe von Philips: ihre Lichtverteilung entspricht praktisch derjenigen einer normalen Glühlampe. Die Lichtwirkung bleibt also nach dem Ersatz einer Glühlampe praktisch identisch. Einen dritten Typ bilden die Maiskolben-Lampen, die mit vielen LED auf einem Zylinder angeordnet sind: Sie strahlen praktisch nur seitlich ab, was am Beispiel der Deckenleuchte bedeutet, dass vor allem die Wände beleuchtet werden während Decke und Boden düster bleiben.

Richtig eingesetzt haben alle drei Varianten ihre Berechtigung; hilfreich wäre eine Abstrahlcharakteristik. Die Angabe der Lichtverteilung fehlt aber generell bei der Deklaration von Lampen.

### Farborte

Im Farbraum kann der Farbort und die Lichtfarbe einer Lichtquelle dargestellt werden. Je näher ein Farbort zur Black-Body-Kurve liegt, desto reiner ist der Weissston; je weiter der Farbort von der Kurve entfernt ist, desto stärker ist ein Farbstich in Richtung blau, gelb, grün oder rot bemerkbar. Im Test lagen die Lampen 1, 6, 7, 8, 10 und 11 auf der Black-Body-Kurve; die übrigen Typen wiesen leichte Farbstiche auf (Abbildung 79 und Abbildung 82).

### Schlussfolgerung

Die LED-Lampe kombiniert die Vorteile der Sparlampe (hohe Effizienz, lange Lebensdauer) mit den Vorteilen der Glüh- und Halogenlampe (Sofortstart, Dimmbarkeit, brillantes Licht). Der Test überrascht mit sehr guten Resultaten der besten Lampen, z. B. sehr hohe Energieeffizienz (bis 94 Lumen pro Watt) und sehr gute Farbwiedergabe (bis  $R_a$  92). Der Test zeigt aber auch Problembereiche: So gibt es weiterhin grosse Qualitätsunterschiede bei vergleichbaren Kaufpreisen, die Deklaration ist zu einem guten Teil unbefriedigend, was einen direkten Vergleich oft unmöglich macht.

Die Kaufpreise für 12-Watt-LED-Lampen liegen derzeit noch bei rund 60 Franken, 8-Watt-Varianten sind für weniger als 40 Franken zu haben. Diese Preise sind im Vergleich zu den etwa gleich effizienten Sparlampen viel zu hoch. Trotzdem kann LED – insbesondere wenn der Mehrwert durch die Vorteile gegenüber Sparlampen mitberücksichtigt wird – durchaus wirtschaftlich sein. In der Regel müssen aber heute Amortisationszeiten für LED-Lampen von vier Jahren und mehr in Kauf genommen werden. Die kurz- und mittelfristige Preisentwicklung der LED-Lampen ist unklar; langfristig dürften die Preise aber markant sinken und die Sparlampentechnologie weitgehend ersetzen. Technologisch wird sich der Trend zu grösseren Leistungen wohl fortsetzen.

## 4.6 Qualitäts-Charta für LED

In der EU wird der Energieverbrauch für die Beleuchtung im Haushaltsbereich auf rund 86 Mia. kWh pro Jahr geschätzt; bis 2020 wird mit einem Wachstum auf 102 Mia. kWh gerechnet. Da sich die LED-Technik sehr schnell entwickelt und die europäischen Normenschaffenden sehr schwerfällig arbeiten, hat eine Gruppe von weit-sichtigen Experten eine europäische LED-Charta geschaffen, welche zwar nur freiwillig ist, dafür aber im richtigen Moment die richtigen Grundlagen schafft.

### Effizienzanforderungen

Die Effizienzanforderungen unterscheiden vier Lampentypen:

- Nicht gerichtetes Licht, Farbwiedergabeindex über 80 (Abkürzung: CRI oder Ra)
- Nicht gerichtetes Licht, Farbwiedergabeindex über 90
- Gerichtetes Licht (Spotlampen), Farbwiedergabeindex über 80
- Gerichtetes Licht (Spotlampen), Farbwiedergabeindex über 90

Die Anforderungen werden im Rhythmus der erwarteten technologischen Entwicklung verschärft (Abbildung 85).

### Qualitätsanforderungen an LED-Retrofitlampen

- **Lebensdauer:** mindestens 15000 Stunden
- **Vorzeitiger Ausfall nach 1000 Stunden:** maximal 5 %
- **Startzeit:** weniger als 0,5 Sekunden
- **Farbwiedergabeindex:** mindestens 80
- **Farbtemperatur:** minimal 2600 Kelvin, maximal 3500 Kelvin
- **Leistungsfaktor:** mindestens 0,5
- **Flackern:** kein Flackern, auch nicht in gedimmten Zustand
- **Blaulichtgefahr:** Strahlungs-kategorie 0 oder 1

**Blaulicht:** Photochemische Netzhautgefährdung (Blaulichtgefahr): Auf die Netzhaut des Auges trifft nur Strahlung des Wellenlängenbereiches 380 nm bis 1400 nm. Länger dauernde Bestrahlung mit Licht im Wellenlängenbereich von 380 nm bis ca. 600 nm kann zur photochemischen Schädigung der Netzhaut führen. Blaues Licht ist aufgrund seines höheren Energiegehalts gegenüber langwelligem Licht besonders biologisch wirksam.

### Qualitätssicherung

- Ersatzgarantie bei vorzeitigem Ausfall gegenüber Konsumenten: mindestens 2 Jahre
- Qualitätssicherungssystem der Herstellers (ISO 9002)

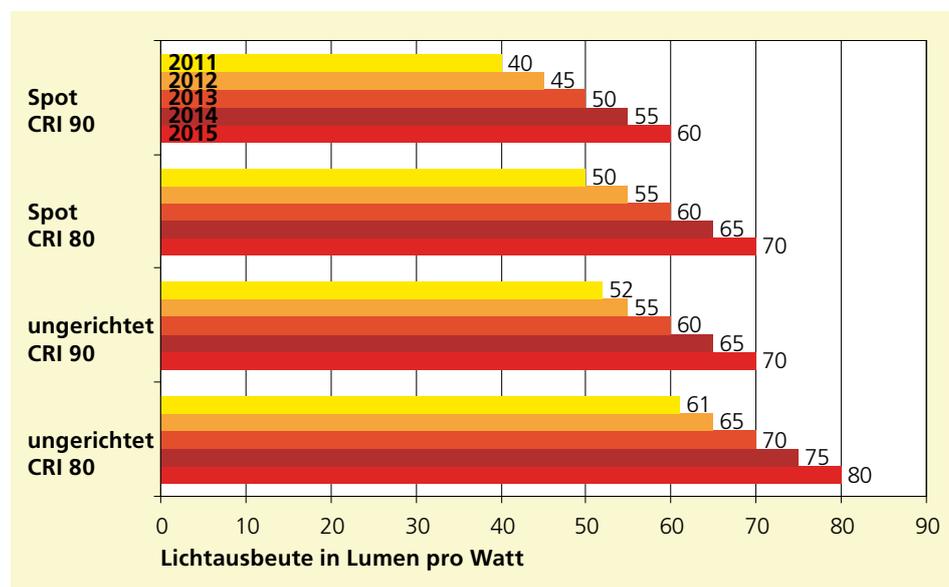


Abbildung 85:  
Anforderungen an LED-Retrofit-Lampen nach der EU-Qualitäts-Charta (CRI: Farbwiedergabeindex)

#### 4.7 Irrtümer über LED

Auch zum Thema LED sind immer Halb- oder Unwahrheiten zu hören. Einige Beispiele:

■ **Behauptung 1:** Die LED-Technik ist eine Erfindung des 21. Jahrhunderts.

**Richtig ist:** Die ersten LED kamen in den 1960-er Jahren auf den Markt. Sie waren rot, wenig effizient und wurden beispielsweise in Digitaluhren eingesetzt. Erst 40 Jahre später gelang es, auch weiße LED herzustellen.

■ **Behauptung 2:** LED erzeugen 90 % Licht, es entsteht keine Abwärme.

**Richtig ist:** Weiße Leuchtdioden können aktuell 20 % bis 30 % des Stroms in Licht umwandeln, der Rest ist Wärme. Diese entsteht aber auf der Rückseite der leuchtenden LED-Fläche, deshalb ist der Lichtstrahl selber frei von Wärme.

■ **Behauptung 3:** LED sind effizienter als Leuchtstoffröhren.

**Richtig ist:** Die aktuelle Systemeffizienz von Leuchtdioden liegt zwischen 50 und 80 Lumen pro Watt). Die besten Leuchtstoffröhren weisen eine Lichtausbeute von rund 100 Lumen pro Watt auf. LED kön-

nen aufgrund ihres stark gerichteten Lichtes punktuell sehr hohe Lichtstärken erzeugen. Lichtstärke und Lichtmenge sind jedoch nicht gleichzusetzen: Der Wasserstrahl eines Gartenschlauches kann bei enger Düse sehr weit spritzen, auch mit geringer Wassermenge.

■ **Behauptung 4:** LED erzeugen kaltes, schlechtes Licht.

**Richtig ist:** Das Qualitätsspektrum der LED-Technik ist riesig. Die besten LED haben eine Lichtqualität, die mit Halogenlicht vergleichbar ist. Diese LED sind noch ziemlich teuer und der Betrachter kann sie in der Praxis oft gar nicht als LED identifizieren. Kaltes und minderwertiges LED-Licht kennen wir insbesondere von Taschenlampen und Velolampen.

■ **Behauptung 5:** Die Lebensdauer von LED ist fast unbegrenzt.

**Richtig ist:** Eine lange Lebensdauer (20 000 bis 50 000 Stunden) weisen LED nur bei hochwertiger Verarbeitung auf. Dazu gehört ein gutes Netzgerät (Stromwandler von 230 Volt Netzspannung zu niedervoltiger Gleichspannung) und eine Konstruktion, welche die Wärmeabgabe

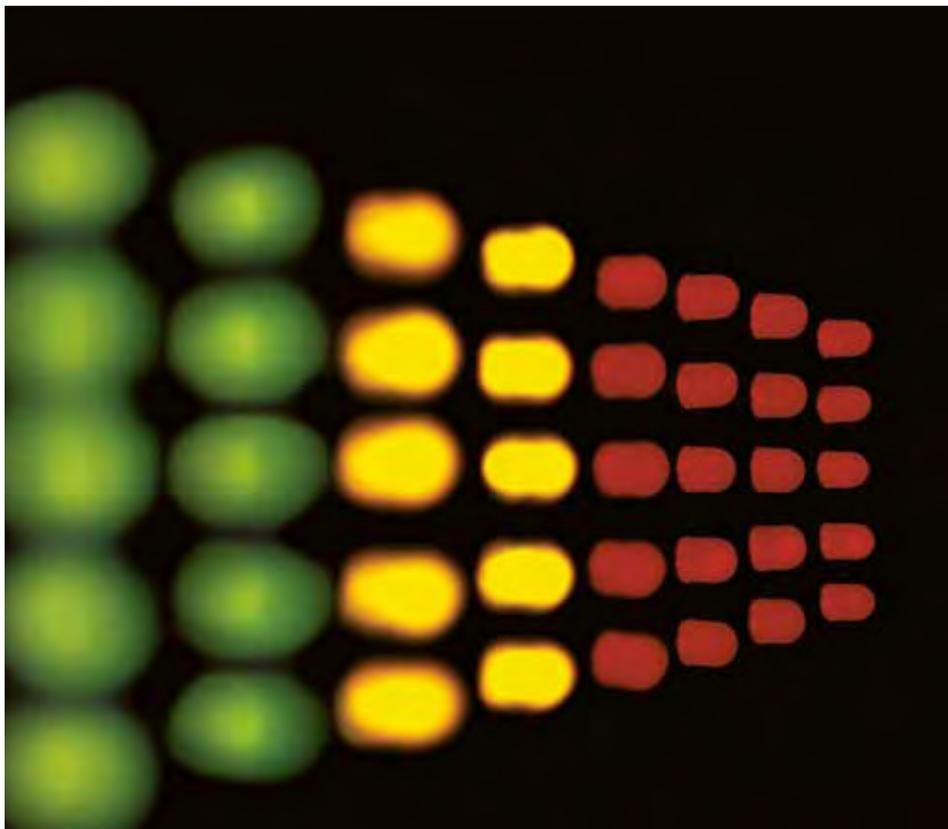


Abbildung 86:  
LED gibt es schon  
seit 50 Jahren

des LED-Chips sicherstellt. Der Lampenkörper sollte metall sein und im Betrieb nicht heiss (nur handwarm) werden.

■ **Behauptung 6:** Weisse LED sind eine rot-grün-blaue Lichtmischung (RGB).

**Richtig ist:** Weisses LED-Licht lässt sich durch Mischung der Grundfarben erzeugen. Allerdings ist die Lichtqualität dann gering, weil wichtige Anteile im Farbspektrum fehlen. Gute weisse LED sind eine Kombination einer blauen LED mit einer speziellen Leuchtstoffbeschichtung, ähnlich wie bei Sparlampen.

■ **Behauptung 7:** LED-Beleuchtung ist heute nicht wirtschaftlich.

**Richtig ist:** Es hängt sehr von der Anwendung ab. Eine LED-Installation in einem Restaurant, Verkaufsladen oder Hotel mit rund 4000 Betriebsstunden pro Jahr amortisiert sich heute in etwa zwei bis vier Jahren (bei einer Lebensdauer von 10 Jahren). Retrofit-Lampen (LED in Glüh- oder Halogenlampenform) für Haushaltanwendungen sind zurzeit nicht wirtschaftlich.

■ **Behauptung 8:** LED-Lampen lassen sich nicht dimmen.

**Richtig ist:** Im Gegensatz zu Glühlampen lassen sich nur LED-Lampen dimmen, die dafür geeignet sind. Da die meisten im Handel angebotenen Dimmer nur für Lampen ab 20 Watt einsetzbar sind, können selbst dimmbare LED-Lampen (mit typischen Leistungen von 4 Watt bis 20 Watt) nur gedimmt werden, wenn mehrere zusammen betrieben werden.

■ **Behauptung 9:** LED erzeugen Elektrosmog wie Sparlampen.

**Richtig ist:** LED benötigen ein Vorschaltgerät, ähnlich wie Sparlampen. Im Gegensatz zu Sparlampen benötigen Leuchtdioden aber (fast) strahlungsfreien Gleichstrom, die Sparlampe hochfrequenten Wechselstrom. Messungen der ETH Zürich belegen, dass LED-Lampen so strahlungsarm sind wie Glühlampen.

■ **Behauptung 10:** Die Herstellungsenergie von LED ist sehr hoch.

**Richtig ist:** Die Herstellungsenergie von LED beträgt weniger als 5 % der Betriebsenergie während der Lebensdauer. Der Ausschuss bei der Fabrikation ist sehr gering: Über 90 % der produzierten LED-

Chips kommen zum Einsatz; in dieser grossen Ausnutzungsrage liegt auch der Grund für die grossen Qualitätsunterschiede der verkauften Ware.

■ **Behauptung 11:** Das LED-Weiss ist von Lampe zu Lampe verschieden.

**Richtig ist:** Die Lichtfarben sind bei LED noch nicht standardisiert; es wird jede beliebige (weisse) Lichtfarbe angeboten. Bei exklusiven LED-Lampen kann man die gewünschte Lichtfarbe präzise einstellen und bei Bedarf auch verändern. Das Problem der unterschiedlichsten Weissstöne dürfte in naher Zukunft gelöst werden.

■ **Behauptung 12:** Defekte LED kann man in den Hausmüll werfen.

**Richtig ist:** LED-Lampen enthalten elektronische Bauteile. Am Ende Ihrer (hoffentlich) langen Lebensdauer müssen sie wie der übrige Elektroschrott (Computer, Radio, Bügeleisen etc.) fachgerecht entsorgt werden. Im Gegensatz zu Sparlampen enthalten LED aber kein giftiges Quecksilber.

■ **Behauptung 13:** Die Energieeffizienz der LED wird noch stark steigen.

**Richtig ist:** Zwischen 2000 und 2010 hat sich die Energieeffizienz der Leuchtdioden etwa verzehnfacht. In den nächsten 10 Jahren scheint eine Verdoppelung realistisch. Dann stösst man für hochwertiges weisses Licht an die physikalischen Grenzen. Für farbiges LED-Licht sind die Steigerungspotenziale grösser.

■ **Behauptung 14:** Die Zukunft gehört den organischen LED (OLED).

**Richtig ist:** Mit organischen LED lassen sich leuchtende Flächen erzeugen. Die OLED-Technik steckt aber noch in den Kinderschuhen: Heute können erst OLED von einigen Quadratzentimetern Fläche hergestellt werden. Von der oft gehörten Vision, ganze Decken und Wände mit leuchtenden OLED zu tapezieren, ist die Industrie noch weit entfernt.

■ **Behauptung 15:** Die TV-Industrie ist weiter als die Beleuchtungsindustrie.

**Richtig ist:** Vom Gesamtmarkt an LED werden derzeit 50 % für TV-Geräte (Backlighting) und nur 15 % für die Beleuchtung verwendet. Langfristig wird sich dieses Verhältnis jedoch umkehren.



## Kapitel 5

# Leuchten

## 5.1 Profi- und Wohnleuchten

Die Begriffe «Lampe» und «Leuchte» werden häufig verwechselt. Effektiv entspricht die Lampe dem Leuchtmittel und mit Leuchte ist der Schirm über oder um das Leuchtmittel gemeint. Der Leuchtenmarkt umfasst den professionellen Markt, den «Heimmarkt» und einen kleinen Markt für Designerleuchten.

■ **Professionelle Leuchten** sind vor allem für Bauten und Anlagen der Dienstleistung und der Industrie bestimmt. Die Leuchten werden zum grössten Teil in Europa produziert. Auch in der Schweiz gibt es zahlreiche Firmen, die solche Leuchten entwickeln und herstellen, z.B. Baltensweiler, Belux, Fluora, Huco, Kaspar Moos, Licht + Raum, Mabalux, Neuco, Küttel, Prolux, Regent, Ribag und Tulux. Die professionellen Leuchten sind nach lichttechnischen Grundsätzen berechnet, konstruiert und in einem Lichtlabor ausgemessen. Sie werden nur über den Fachhandel oder über Planer und Installateure vertrieben. Da professionelle Leuchten meist in grösseren Stückzahlen verkauft werden, sind sie im Endpreis mit durchschnittlich 200 Fr. pro Leuchte weniger teuer als man aufgrund der Produktionsstandorte in Europa vermuten könnte. In der Schweiz werden jährlich ca. 2 Millionen neue professionelle Leuchten verkauft und installiert.

■ **Heimleuchten** werden im Gegensatz zu den professionellen Leuchten meist in Fernost produziert und überwiegend von Grossverteilern importiert und vertrieben. Die Leuchten werden in der Regel nicht nach lichttechnischen Kriterien entwickelt, sondern als gefällige Objekte gestaltet. Heimleuchten werden meistens nicht ausgemessen, ihre Energieeffizienz ist eher zufällig, abgesehen vom Leuchtmittel, meist eine schraub- oder steckbare Halogenlampe oder Sparlampe. Da die Energieeffizienz von Leuchten auch in der privaten Wohnung von Bedeutung ist, hat die Fach-



Abbildung 87:  
Stromsparende  
Wohnleuchten von  
stockwerk3 ([www.  
stockwerk3.ch](http://www.stockwerk3.ch))



Abbildung 88:  
Stromsparende  
Wohnleuchten von  
Baltensweiler  
([www.baltensweiler.ch](http://www.baltensweiler.ch))



Abbildung 89 (linke Spalte): Stromsparende Wohnleuchten von Belux ([www.belux.ch](http://www.belux.ch))



Abbildung 90 (oben): Stromsparende Wohnleuchten von Philips, erhältlich bei Coop-Lumimart und Bau & Hobby



Abbildung 91: Stromsparende Wohnleuchte von Hellinge ([www.hellinge.ch](http://www.hellinge.ch))

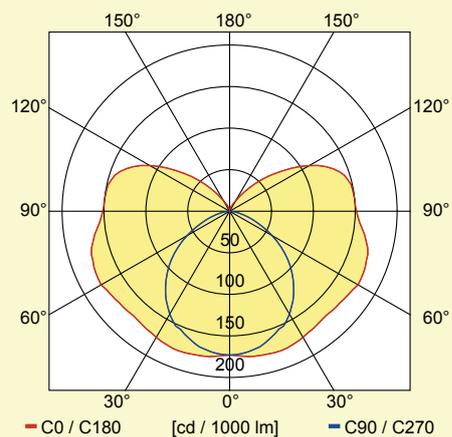
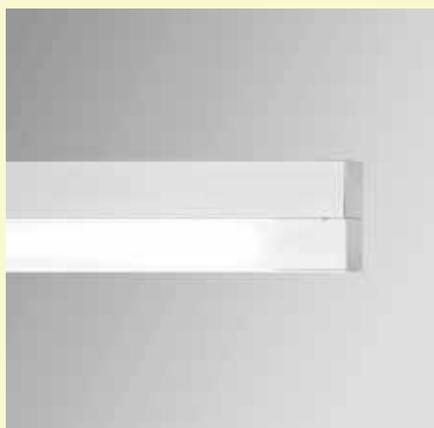
hochschule Chur ein einfaches Messlabor aufgebaut, in welchem Heimleuchten ausgemessen werden. Die Grossverteiler Migros und Coop nutzen dieses Angebot. Heimleuchten sind grösstenteils billig verarbeitet, da sie aber als Einzelprodukte an die Konsumenten verkauft werden, sind die Preise mit 50 Fr. bis über 500 Fr. nicht viel tiefer als für professionelle Leuchten.

■ **Designerleuchten** machen einen kleinen Nischenmarkt aus. Sie werden professionell konzipiert und eignen sich für Wohnungen sowie für repräsentative Räume in Hotels, Banken und Verwaltungen. Designerleuchten sind mit Preisen von über 500 Fr. teurer als Grossserienleuchten; sie sind im Möbel- und Elektrofachhandel erhältlich.

Wichtige Hersteller von Schweizer Designerleuchten sind, neben anderen, Baltensweiler, Belux, Hellinge, stockwerk3 oder Neue Werkstatt.

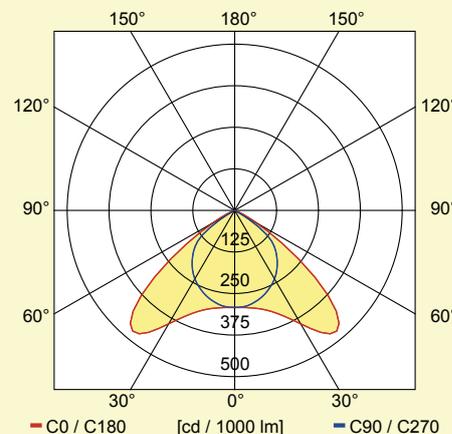
## 5.2 Typologie der Leuchten

Professionelle Leuchten sind nach lichttechnischen Kriterien ausgemessen und somit beurteilbar. Die primäre Aufgabe der Leuchte ist die Lichtlenkung. Zudem schirmt die Leuchte Raumabschnitte gezielt von der Beleuchtung ab. Vielfach ist damit ein Blendschutz (Entblendung) verbunden. Diese Fokussierung von Lichtstrahlen kann mit unterschiedlichen Mitteln – effizient oder ineffizient – erfolgen. Die häufigsten Konstruktionen zur Licht-



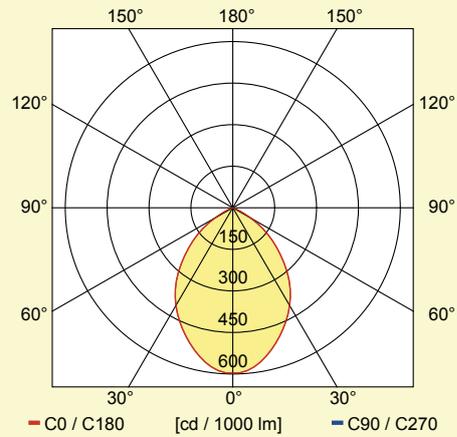
**Abbildung 92:**  
**Deckenanbauleuchte**

- Name: Spinaquick
- Hersteller: Ribag
- Typ: FL-Röhre T16
- Lampen: 1-mal 28 W
- Leistung: 34 W
- Lichtstrom: 2834 lm
- Effizienz: 83 lm/W
- Direktlicht: 71 %
- Minergie: Ri-0011



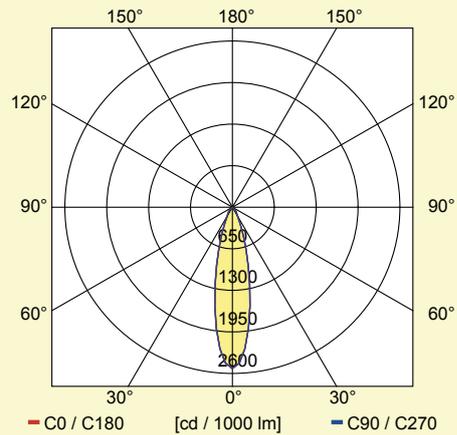
**Abbildung 93:**  
**Deckeneinbauleuchte**

- Name: Nova
- Hersteller: Tulux
- Typ: Röhre T16
- Lampen: 2-mal 35 W
- Leistung: 80 W
- Lichtstrom: 5940 lm
- Effizienz: 74 lm/W
- Direktlicht: 100 %
- Minergie: Tu-0002



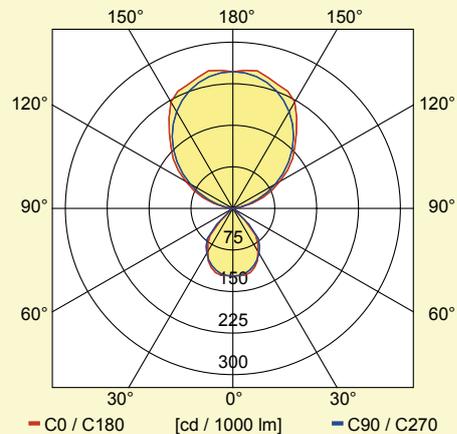
**Abbildung 94:**  
**Downlight**

- Name: Panos
- Hersteller: Zumtobel
- Typ: LED
- Lampen: LED
- Leistung: 36 W
- Lichtstrom: 2857 lm
- Effizienz: 77 lm/W
- Direktlicht: 100 %
- Minergie: Zu-0145



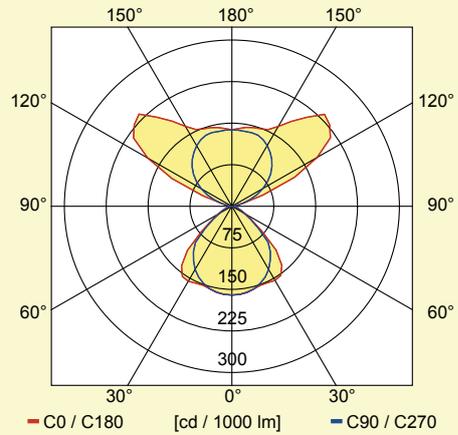
**Abbildung 95:**  
**Strahler**

- Name: Poco
- Hersteller: Regent
- Typ: Metaldampf
- Lampen: 1-mal 70 W
- Leistung: 79 W
- Lichtstrom: 4900 lm
- Effizienz: 77 lm/W
- Direktlicht: 100 %
- Minergie: Re-0033

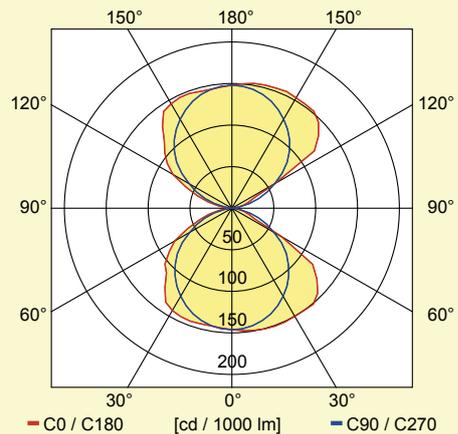


**Abbildung 96:**  
**Stehleuchte**

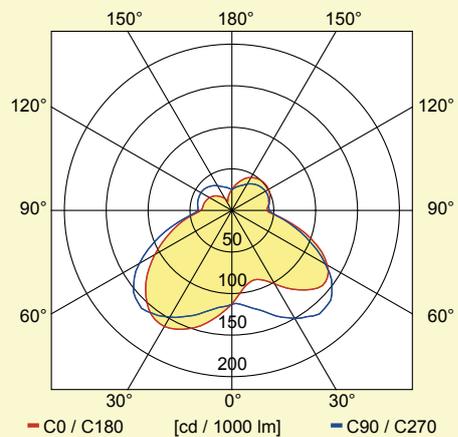
- Name: Ecolit
- Hersteller: Baltensweiler
- Typ: Kompakt FLTC-L
- Lampen: 2-mal 55 W
- Leistung: 108 W
- Lichtstrom: 8160 lm
- Effizienz: 76 lm/W
- Direktlicht: 21 %
- Minergie: Ba-0001



**Abbildung 97:**  
**Pendelleuchte**  
 ■ Name: Tycoon  
 ■ Hersteller: Waldmann  
 ■ Typ: FL-Röhre T16  
 ■ Lampen: 2-mal 28 W  
 ■ Leistung: 61 W  
 ■ Lichtstrom: 5148 lm  
 ■ Effizienz: 84 lm/W  
 ■ Direktlicht: 37 %  
 ■ Minergie: Wa-0001



**Abbildung 98:**  
**Wandleuchte**  
 ■ Name: Vanera  
 ■ Hersteller: Derungs  
 ■ Typ: FL-Röhre T16  
 ■ Lampen: 2-mal 28 W  
 ■ Leistung: 61 W  
 ■ Lichtstrom: 4732 lm  
 ■ Effizienz: 78 lm/W  
 ■ Direktlicht: 50 %  
 ■ Minergie: De-0005



**Abbildung 99:**  
**Tischleuchte**  
 ■ Name: Scope  
 ■ Hersteller: Belux  
 ■ Typ: Kompakt FLTC-T  
 ■ Lampen: 1-mal 13 W  
 ■ Leistung: 14 W  
 ■ Lichtstrom: 837 lm  
 ■ Effizienz: 60 lm/W  
 ■ Direktlicht: 73 %  
 ■ Minergie: Be-0011

lenkung sind Mattglasscheiben, Kunststoffprismen sowie verspiegelte oder matte Metallreflektoren. Mit der Lichtverteilungskurve (LVK) wird die Abstrahlcharakteristik der Leuchten beschrieben, wobei jeweils die Längs- und die Querrichtung grafisch abgebildet wird. Gemäss der Online-Leuchtendatenbank der Firma Relux ([www.relux.com](http://www.relux.com)) sind etwa 250 000 verschiedene Leuchten am europäischen Markt erhältlich. Die für Innenräume am häufigsten verwendeten Typen lassen sich acht Kategorien zuordnen: Deckenanbauleuchten, Deckeneinbauleuchten, Downlights, Pendelleuchten, Stehleuchten, Strahler, Tischleuchten und Wandleuchten. In Abbildung 92 bis Abbildung 99 sind effiziente Beispiele aus der Liste der nach Minergie zertifizierten Leuchten ([www.toplicht.ch](http://www.toplicht.ch)) der acht Leuchtenkategorien, die Lichtverteilungskurve und die wichtigsten Kennwerte dargestellt.

### 5.3 Messen von Leuchten

Die professionelle Messung der Lichtverteilung von Leuchten wird in einem Fotogoniometer vorgenommen. Die Funktionsweise des Goniometers ist in Abschnitt 3.5 beschrieben. Weil Leuchten aber deutlich grösser sind als Lampen und die Messung, vor allem von Leuchtstofflampen, enorm diffizil ist, kommen für genaue Messungen sehr aufwändige und teure Messvorrichtungen zur Anwendung. Es sind drei Typen von Fotogoniometern im Einsatz:

■ **Drehspiegel-Fotogoniometer:** Die Lichtquelle dreht sich um die vertikale

Achse. Der Fotometerkopf ist fest und sieht die Quelle über einen Drehspiegel, der sich um eine horizontale Achse dreht. **Vorteil:** sehr präzise Messmethode, auch bei stark temperatur- und lageabhängigen Lampentypen. **Nachteil:** aufwändige Mechanik, hohe Anforderungen an die Qualität des Spiegels und hohe Kosten. **Beispiel:** Metas Bern (Abbildung 101).

■ **Fotogoniometer mit beweglichem Sensor:** Die Lichtquelle dreht sich um die vertikale Achse, der Fotometerkopf bewegt sich um eine horizontale Achse mit dem Messobjekt. **Vorteil:** sehr präzise Messmethode, auch bei stark temperatur- und lageabhängigen Lampentypen. **Nach-**

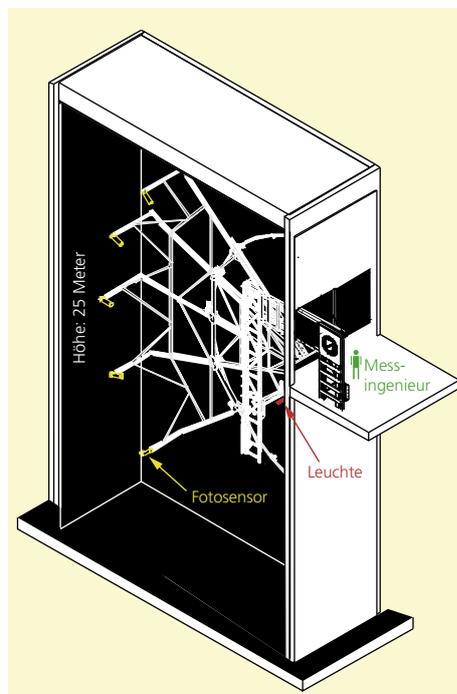


Abbildung 100: Prinzip eines Fotogoniometers mit Bewegung des Fotometerkopfes (Zumtobel, Dornbirn)

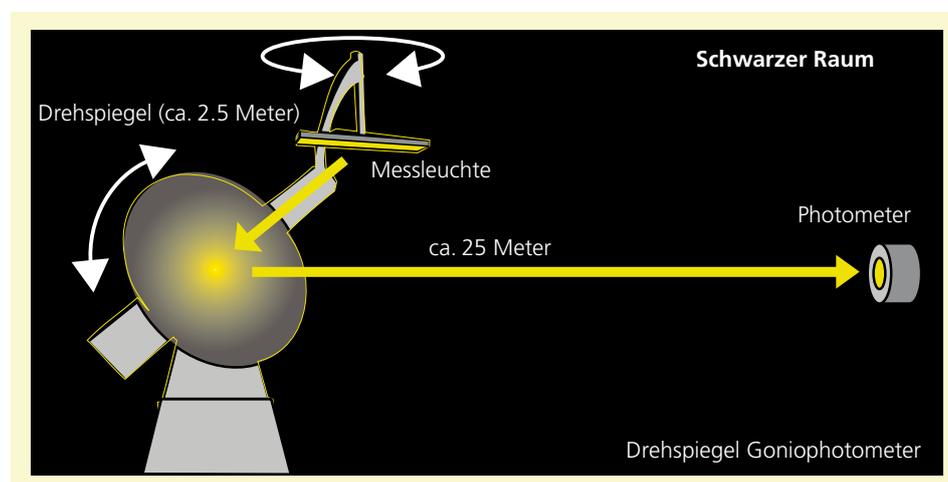


Abbildung 101: Prinzip des Drehspiegel-Fotogoniometers (Metas Bern)



schen Daten von Lampen und Leuchten) sind die Bedingungen genau beschrieben. Neben den fotometrischen Daten werden unter anderem elektrische Werte, Farbwiedergabe und Dimensionen gemessen und in der Eulum-Datei abgelegt.

#### 5.4 Minergie-Leuchten

Minergie-Leuchten zeichnen sich durch hohe Qualität und gute Energieeffizienz aus. Nur Leuchten, die von der zuständigen Stelle zertifiziert wurden, dürfen als Minergie-Leuchten bezeichnet werden. Das Label Minergie ist markenrechtlich geschützt. Die Schweizerische Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E. ist die einzige autorisierte Zertifizierungsstelle. Damit Leuchten zertifiziert werden können, muss der Hersteller über ein ausgewiesenes Qualitätssicherungssystem (ISO 9000 oder vergleichbar) verfügen. Alle Leuchten müssen in einem akkreditierten Messlabor (nach EN ISO/IEC 17025) nach genau vorgegebenen Richtlinien (nach EN 13032) ausgemessen und dokumentiert werden. Nur von der Labelkommission für Minergie-Leuchten zugelassene Hersteller können Leuchten zertifizieren lassen.

##### Leuchten-Effizienz-Faktor LEF

Als Energieeffizienz einer Leuchte wird das Produkt der Wirkungsgrade von Leuchtmittel, Betriebsgerät und Leuchte definiert. Häufig wird der Effizienzwert einer Leuchte auch mit der Abkürzung «LEF» (Luminare Efficiency Factor) bezeichnet. Der Betriebswirkungsgrad der Leuchte

(LOR = Light Output Ratio) beschreibt also nur einen Teil der Effizienz einer Leuchte.

Um Effizienzkriterien zu definieren, wurde eine statistische Analyse der Leuchtendatenbank von Relux durchgeführt. Für diese Analyse wurden 16 000 Datensätzen der vier grossen Schweizer Leuchtenanbieter Regent, Zumtobel, Tulux und Fluora verwendet (Abbildung 42, Seite 48). Es wurden nur Leuchten berücksichtigt, die mit Entladungslampen und elektronischen Vorschaltgeräten bestückt waren, die Auswahl basierte also auf Leuchten, die bereits mit den besten Lampen und Vorschaltgeräten bestückt sind. Da verschiedene Leuchtmittel und Lichtverteilcharakteristiken auch unterschiedliche Leuchten-Effizienz-Faktoren ergeben, erfolgte die Auswertung der Leuchtentypen nach Leuchtmitteln, Abstrahlrichtungen, Leistungen und Baugrössen (Abbildung 103).

##### Anforderungen an den Leuchten-Effizienz-Faktor

Die Auswertung der Relux-Leuchtendatenbank ergibt die Basis zur Definition der Minergie-Anforderungen an Minergie. Grundsätzlich sollen lediglich die besten 20 % der Leuchten für eine Zertifizierung in Frage kommen.

■ Bei Leuchtstoffröhren werden Abstrahlrichtung und Baulänge unterschieden; innerhalb dieser sechs Bereiche sind die Anforderungen unabhängig von der Leistung definiert (Abbildung 103).

■ Bei kompakten Leuchtmitteln (Leuchtstofflampe, Halogenmetaldampflampe

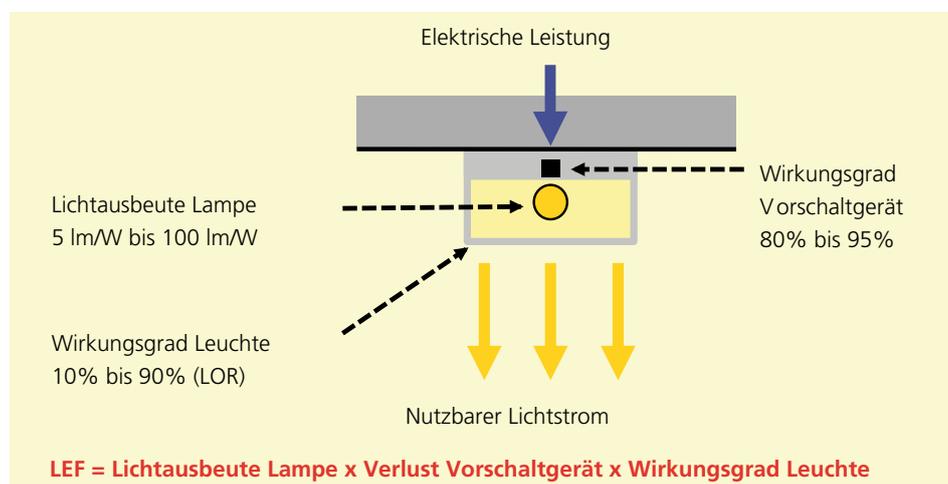


Abbildung 102:  
Definition des  
Leuchten-Effizienz-  
Faktors LEF

und LED) wird ebenfalls nach Abstrahlrichtung und zusätzlich nach Leistungsklasse differenziert. Bei Lampen unter 32 Watt fällt die Anforderung linear ab (Abbildung 103).

**Weitere Anforderungen**

Neben den Anforderungen an den Leuchten-Effizienz-Faktor einer Leuchte werden weitere technische Bedingungen gestellt:

- Die Standby-Leistung muss bei unregulierten Leuchten Null betragen. Bei regulierten Leuchten wird zwischen Stehleuchten und anderen Leuchten unterschieden. Bei regulierbaren Stehleuchten darf der Standby höchstens 0,5 Watt betragen; der höhere Anschaffungspreis rechtfertigt den Einbau einer elektromechanischen Standby-Abschaltung, die nach einer automatischen Ausserbetriebnahme der Leuchte in Funktion kommt.
- Nur Leuchten mit einer Blendziffer von maximal 25 im Standardraum können Minergie-Leuchten sein. Frei strahlende Leuchten ohne Reflektor werden somit von der Zertifizierung ausgeschlossen.
- Bei LED-Leuchten müssen weitere Anforderungen erfüllt sein. Farbwiedergabeindex: mindestens 80, Lebensdauer: mindestens 20000 Stunden, Leistungsfaktor analog wie für Leuchtstofflampen (mindestens 0,5 bis 25 Watt, mindestens 0,9 ab 25 Watt).

**Liste der Minergie-Leuchten auf [www.toplicht.ch](http://www.toplicht.ch)**

Auf der Webseite [www.toplicht.ch](http://www.toplicht.ch) sind alle zertifizierten Minergie-Leuchten gelistet. Sie können nach Hersteller, Lampen- und Leuchtenkategorien, Leuchtennamen, Leistungen sowie dem Regelungstyp gefiltert werden. Eine Vergleichsoption ermöglicht es dem Anwender, ähnliche Leuchten verschiedener Hersteller hinsichtlich ihrer Auswahlkriterien zu vergleichen. Für jede Leuchte lassen sich durch Anklicken die Detaildaten beschaffen, alle Eulum-Dateteilen und das standardisierte Leuchtendatenblatt sind downloadbar.

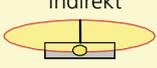
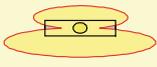
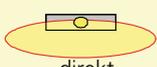
Neben der Publikation von guten Leuchten dient die Webseite auch für die Registrierung von Leuchten, Herstellern und Messlabors. Die Zertifizierung neuer Leuchten erfolgt ausschliesslich online über dieses Portal (Abbildung 104).

**Messlabors**

Ein für Minergie-Zertifizierungen zugelassenes Messlabor muss folgenden Normen entsprechen und bei der zuständigen staatlichen Stelle (in der Schweiz [www.sas.ch](http://www.sas.ch)) akkreditiert sein.

- EN ISO/IEC 17025: Anforderungen an die Prüf- und Kalibrierlaboratorien
- SN EN 13032: Messung und Darstellung von fotometrischen Daten von Lampen und Leuchten, Teil 1: Messung und Datenformat
- Zusatzanforderung für Minergie-Leuchten zur SN EN 13032, betreffend Messver-

Abbildung 103:  
Minimal-Anforderungen an den Leuchten-Effizienz-Faktor von Minergie-Leuchten

Lampentyp	Leuchtstoffröhre		LED	
	Baulänge < 600 mm	Baulänge > 600mm	Leistung < 32 W	Leistung > 32 W
indirekt 	65 lm/W	70 lm/W	44 lm/W + 0,5 lm/W pro Watt	60 lm/W
	60 lm/W	65 lm/W	39 lm/W + 0,5 lm/W pro Watt	55 lm/W
direkt 	55 lm/W	60 lm/W	34 lm/W + 0,5 lm/W pro Watt	50 lm/W

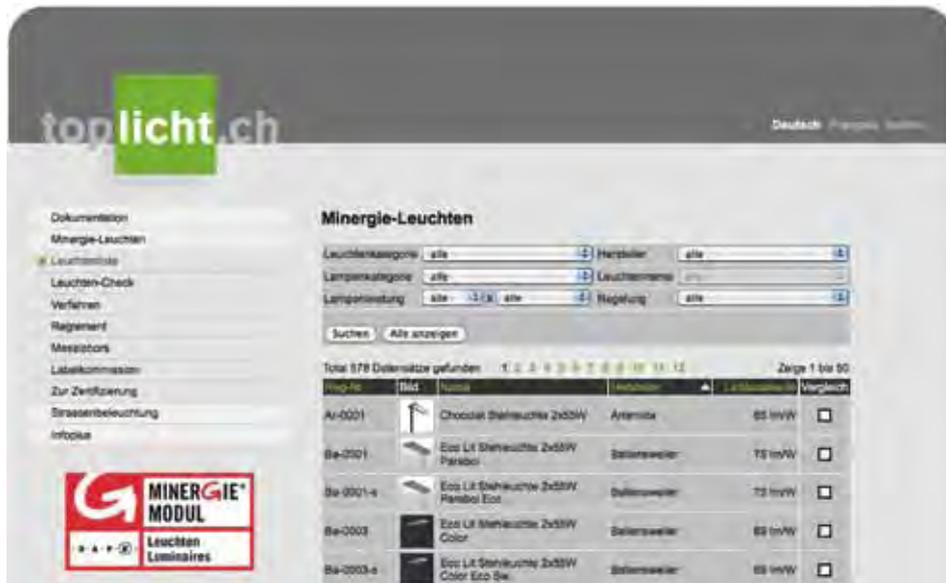


Abbildung 104: Leuchtenliste auf www.toplicht.ch



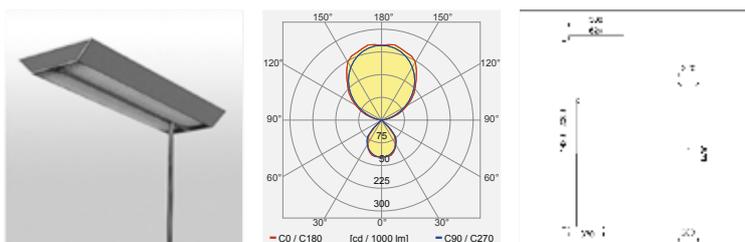
**MINERGIE®-Leuchte**

**BALTENSWEILER**

Reg.-Nr. Ba-0001-s  
Reg.-Datum 04.12.2007

**Eco Lit Stehleuchte 2x55W Parabol Eco Switch**

Mit den lichttechnisch optimierten Reflektoren und den innovativen elektronischen Komponenten erweitert Eco Lit unser Eco-Büroleuchtersystem. Der Zugschalter ist im Reflektorteil integriert. Er ist Bestandteil aller Eco Lit Reflektorvarianten mit oder ohne Sensorelektronik. Eine feine Saite führt zur bequem erreichbaren Schalterhülse. Je nach Wunsch kann Eco Lit mit oder ohne Bewegungsmelder resp. Lichtsensor gewählt werden. Der Zugschalter am Teleskopstativ lässt beide Varianten zu. Drei verschiedene Rastereinsätze bestimmen Lichtwirkung und Outfit von Eco Lit. Dem Planer ergibt sich durch die verschiedenen Modelle grosser Spielraum in ästhetischer und technischer Hinsicht.



Leuchtenkategorie	Stehleuchte
Lampenkategorie	Kompaktleuchtstofflampen
Artikelnummer	3502 S
Eingesetztes Vorschaltgerät	Philips HF-P 255 PLL EII 220-240
Verwendete Messlampe	PHILIPS PL-L 55W/840/4p
Anzahl Lampen pro Leuchte	2
Gemessene Leistung	108 W
Gesamtlichtstrom 25° (Lumen)	9600
Standby-Leistung	0.5 W
Integrierte Lichtregelung	Präsenz / Tageslicht
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	85 %
Anteil Direktlicht	21 %
Abstrahlung	direkt-indirekt strahlend
Blendklasse UGR im Standardraum	<16 / <16 (längs/quer)
Max. Leuchtdichte über 65°	max. 150 cd/m <sup>2</sup>
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	75 lm/W (55 lm/W)
Original oder abgeleitete Messung	Original
Messdatum, Messingenieur	-
EULUMDAT-Datei	Ivk657_Eco_Lit_Parabol_2x55Wsym.LDT
Messlabor	METAS Bern-Wabern

Abbildung 105: Zertifikat einer Minergie-Leuchte

fahren für 2-seitig gesockelte Leuchtstofflampen mit 16 mm Durchmesser (T5) und 1-seitig gesockelte Kompaktleuchtstofflampen

■ Messungen eines autorisierten staatlichen Messlabors werden anerkannt, in der Schweiz das Bundesamt für Metrologie, [www.metas.ch](http://www.metas.ch)

Folgende Lichtmesslabors sind nach EN ISO/IEC 17025 akkreditiert und dürfen Minergie konforme Messungen durchführen:

■ Bundesamt für Metrologie METAS, Bern-Wabern, [www.metas.ch](http://www.metas.ch)

■ Dial GmbH, Lüdenscheid bei Frankfurt a.M. (D), [www.dial.de](http://www.dial.de)

■ Lichttechnisches Institut Karlsruhe der Universität Karlsruhe, Karlsruhe (D), [www.lti.uni-karlsruhe.de](http://www.lti.uni-karlsruhe.de), [www.lti.kit.edu](http://www.lti.kit.edu)

■ LDM Klinga, Klinga bei Leibzig (D), [www.lighting-laboratory.de](http://www.lighting-laboratory.de)

■ Zumtobel Lighting GmbH, Dornbirn (A), [www.zumtobel.com](http://www.zumtobel.com)

■ Regent Beleuchtungskörper AG, Basel, [www.regent.ch](http://www.regent.ch)

### Stand der Zertifizierungen im November 2011

Ende Juni 2011 waren total 619 Minergie-Leuchten von 24 Herstellern nach Minergie zertifiziert und auf [www.toplicht.ch](http://www.toplicht.ch) gelistet.

Anbieter	Anbau-leuchten	Einbau-leuchten	Down-lights	Pendel-leuchten	Steh-leuchten	Strahler	Tisch-leuchten	Wand-leuchten	Total
Artemide					1				1
Baltensweiler					6		3		9
Belux				10	10		10	1	31
Derungs	2			2				1	5
Fluora				1	2				3
Huco				19	7				26
Küttel	2	2		6					10
Licht + Raum	2			8	3				13
Luxit					1				1
Luxo					1				1
Mabalux				2	3				5
Moos					1				1
Neuco	7	3		1	12			2	25
Prolux					2				2
Regent	27		1	34	19	3	6	2	92
Ribag	16			10					26
Ridi		1							1
Siteco	5			4	2				11
Tobias Grau					1				1
Trilux				17	11				28
Tulux		4		5	6				15
Waldmann				11	8				19
XAL	8	21		24	6				59
Zumtobel	55	44	65	36	22	12			234
Alle Anbieter	124	75	66	190	124	15	19	6	619

Tabelle 43:  
Anbieter und Typen  
von Minergie-  
Leuchten

## Kapitel 6

# Steuern und Regeln

### 6.1 Grundlagen

Wenn eine Beleuchtung bedarfsabhängig betrieben werden soll, kommen Steuerungen oder Regelungen zum Einsatz. Während bei einer Lichtregelung die Beleuchtungsstärke gemessen und als Feedback an die Regelelektronik zurückgemeldet wird, funktioniert die Lichtsteuerung ohne direkte Rückkoppelung (Abbildung 106).

Zu den typischen Vertretern der Lichtregelungen gehören die Konstantlichtregelung mit und die Tageslichtabhängige Ein-Aus-Regelung mit Raumsensoren.

Lichtsteuerungen sind Schaltuhren aber auch die Konstantlichtsteuerung, bei welcher sich der Lichtsensor ausserhalb des Raumes an der Fassade oder auf dem Dach befindet. Bewegungsmelder gehören streng genommen auch zu den Steuerungen: zwar wird die Präsenz im Raum erfasst und als Rückmeldung an den Sensor übermittelt; da aber nicht das eigentliche Ausgangssignal (die Beleuchtung) sondern die Bewegung gemessen wird, spricht man hier von einer Lichtsteuerung.

Da die meisten Bewegungs- oder Präsenzmelder (PIR) aber auch eine Tageslichtsensoren eingebaut haben, ist der typische PIR

sowohl eine Regelung als auch eine Steuerung.

Ob Regelung oder Steuerung – für ein Lichtmanagementsystem braucht es drei Elemente: einen Signalgeber (z.B. Tageslichtsensor), ein Kabel zur Signalübertragung (z.B. mit DALI-Protokoll) und eine Regel- bzw. eine Steuerelektronik.

#### Signalübertragung

Informationen zur Anwesenheit von Personen und zur Tageslichtsituation müssen vom Sensor zum Regler und von da zur Lichtquelle übertragen werden. Das erfolgt physisch mit einem Niederspannungssignal über eine einfache Steuerleitung (normaler Telefondraht). Damit Informationen von vielen Sensoren an unterschiedliche Regler und Lichtquellen über ein und denselben Draht übertragen werden können, werden die Signale adressiert. Üblicherweise erfolgt dies mit einem Übertragungs- oder Netzwerkprotokoll. So kommt das Signal für den Regler A oder die Leuchte B auch tatsächlich ans Ziel.

Die wichtigsten Netzwerkprotokolle:

■ DALI: Digital Addressable Lighting Interface (Licht- und Storen)

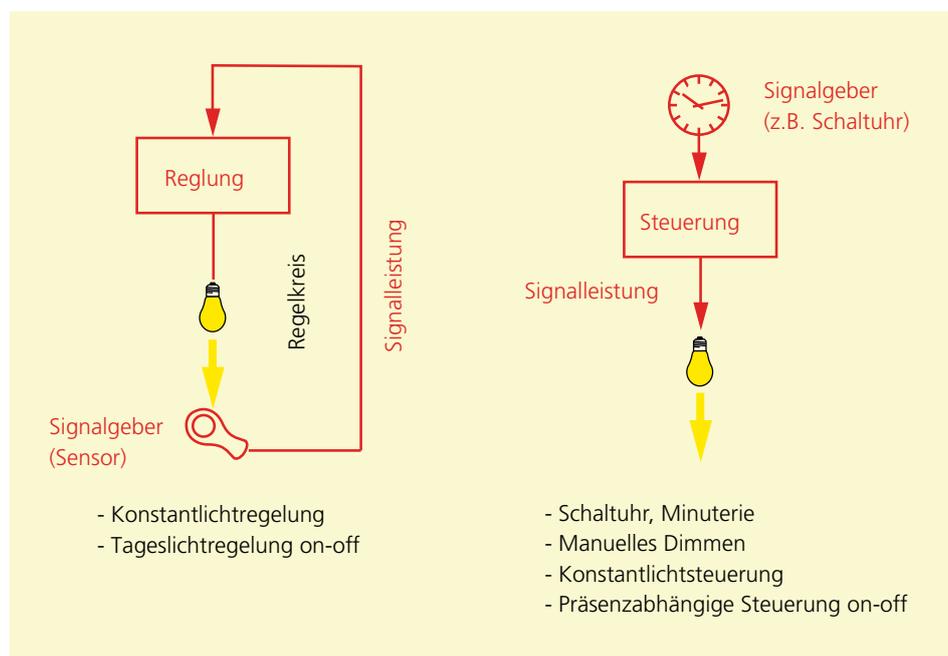


Abbildung 106:  
Unterschied zwischen Regeln und Steuern

- EIB: Europäischer Installationsbus (allgemeine Haustechnikanlagen). Der KNX-Standard ersetzt heute EIB.
- LON: Local Operating Network (allgemeine Haustechnikanlagen)
- Luxmate: Netzwerklösung der Firma Zumtobel
- Digitalstrom: (Haustechniksteuerung mit Datenübertragung übers Starkstromnetz)
- LAN: Local Area Network (Gebäude-internes Computer-Netzwerk)
- TCP/IP: Transmission Control Protocol (Internet)

In der Lichttechnik ist DALI das verbreitetste Netzwerkprotokoll. DALI ist sehr einfach und unkompliziert aufgebaut und kann direkt zwischen Sensor, Schalter und elektronischem Vorschaltgerät (EVG) kommunizieren. Jedes Betriebsgerät, das über eine DALI-Schnittstelle verfügt, kann über DALI-Kurzadressen einzeln angesteuert werden. Durch einen bidirektionalen Datenaustausch kann ein DALI-Steuergerät (DALI-Gateway) den Status von Leuchtmitteln bzw. von Betriebsgeräten einer Leuchte abfragen respektive den Zustand setzen. DALI kann als «Inselsystem» mit

maximal 64 Betriebsgeräten betrieben werden oder als Subsystem über DALI-Gateways (Abbildung 107) in modernen Gebäudeautomationssystemen (KNX, LON, LAN).

DALI verwendet ein serielles, asynchrones Datenprotokoll mit einer Übertragungsrate von 1200 Bit/s bei einem Spannungsniveau von 16 V. Das Übertragungssystem ist unkompliziert und universell einsetzbar:

- Die 2-adrige Steuerleitung ist galvanisch getrennt und verpolungssicher.
- Der Standard setzt keine Bedingungen bezüglich der Art der eingesetzten Stecker, Klemmen und Leitungen.
- Die Leitungen können in fast beliebigen Topologien – also Stern, Linien- oder Baumstrukturen – verlegt werden (ringförmige Verbindungen sind zu vermeiden).
- Die Leitungslänge zwischen zwei Systemkomponenten ist (abhängig vom Leitungsquerschnitt) auf maximal 300 Meter begrenzt.
- Es sind keine Abschlusswiderstände am Ende einer Leitung notwendig.

### Regel- und Steuerelektronik

Die Regel- und Steuerelektronik verarbeitet die Messwerte der Sensoren, die über die Signalleitungen eintreffen und schaltet ein Relais (Ein oder Aus) oder einen Dimmer (stufenlose Stromstärke). Bei den verbreiteten Bewegungs- und Präsenzmeldern mit integrierter Tageslicht abhängiger Ein-Aus-Schaltung (PIR) ist die Steuerelektronik direkt im Sensor integriert. Bei reinen Tageslichtsensoren für Dimmung und Konstantlichtregelung ist die Regelelektronik im (DALI-)Vorschaltgerät der Leuchte eingebaut.

### Lichtmanagementsystem

Mehrere Regelkreise oder Steuerungen zusammengefasst ergeben ein Lichtmanagementsystem (LMS). Es koordiniert die Sensoren und Betriebsgeräte der Leuchten und bildet die Schnittstelle zu einem übergeordneten Gebäudeautomationssystem oder zum Internet. Das Steuergerät (Gateway), das die einzelnen Regelungen zusammenfasst, ist meist in der Etagenverteilung der Elektroversorgung installiert.



Abbildung 107:  
Steuergerät (Gateway) für DALI-Teilnehmer: Leuchten, Sensoren, Schalter

Abbildung 108:  
elektronisches Vorschaltgerät mit DALI-Regler



## 6.2 Sensoren

In der Beleuchtungstechnik kommen vier Sensortypen zum Einsatz:

- Passiv-Infrarot-Sensor (PIR) für die Erfassung von Bewegungen (Abbildung 109)
- Radar zur Erfassung von Bewegungen
- Foto-Zelle für Tageslichterfassung
- CCD-Bildsensor für die Erfassung von Bewegung und Tageslicht

### Passiv-Infrarot-Sensor (PIR)

Der Passiv-Infrarot-Sensor dient der Detektion und Steuerung der künstlichen Beleuchtung in Abhängigkeit der Bewegung von Personen in einem Raum. Der PIR ist im Prinzip eine einfache Infrarotkamera, wie sie auch in der Thermografie zum Einsatz kommt. Der Sensor gleicht demjenigen einer Digitalkamera, die Auflösung ist aber relativ gering. Der PIR fotografiert in regelmässigen Abständen den Raum und vergleicht die Bilder miteinander: Sobald sich ein Pixel im Bild ändert, meldet er dem Regler, dass eine Bewegung stattfindet und das Licht nicht ausgeschaltet werden darf. Wenn sich das digitale Infrarotbild – z. B. während 10 Minuten – nicht ändert, gibt der Sensor das Signal zum Abschalten des Lichts an den Regler.

Der PIR-Sensor erfasst nicht das sichtbare Licht, sondern ein Bild im Infrarot-Bereich (IR). Wärme abstrahlende Körper strahlen im IR-Bereich stärker als kühle Gegenstände, dadurch ist die Erkennung von Personen einfacher als im sichtbaren Lichtspektrum. Der PIR ist passiv, das heisst, er sendet – im Gegensatz zum Radar – keine Strahlung aus, sondern erfasst das Bild rein passiv (Abbildung 110).

PIR-Sensoren gelten heute als Stand der Technik und werden in vielen Zweckbauten aber auch in Haushalten eingesetzt. Bei richtiger Platzierung und Justierung ist ein PIR ein zuverlässiges Gerät, um Präsenz von Personen zu detektieren und dadurch eine Beleuchtung zu regeln.

Die PIR-Technik hat allerdings Einschränkungen, die in der praktischen Anwendung nicht selten zu unzuverlässigen Lichtregulierungen führen.

- Je weiter das PIR-Gerät von zu detektierenden Personen entfernt ist, desto unge-

nauer wird die Erfassung; die eingesetzte Technik mit der facettierten Streulinse muss im Zeitalter der Digitalkamera als zu wenig leistungsfähig eingeschätzt werden.

- Der PIR kann nur erfassen, was er auch sieht. Eine Handbewegung einer Person hinter einem grossen Monitor kann der PIR nicht sehen.

■ Der PIR sieht Dinge, die er nicht sehen soll. Je nach Positionierung reagiert er auch auf Personen, die z. B. ausserhalb des Büros den Korridor entlang gehen, wenn die Türe offen steht.

- Da der PIR auf Wärmeabstrahlung reagiert, kann er z. B. auch einen Laserdrucker als Person interpretieren. Da sich ein Laserdrucker von Zeit zu Zeit aufwärmt, erzeugt er für den PIR eine sich ändernde Wärmequelle (also einen «Menschen»).

■ Erschwerend beim PIR ist seine Ästhetik; viele Architekten finden das Teil graulich und verschieben es am liebsten in die hinterste Ecke eines Raumes. Von da sieht der PIR nicht mehr viel. Im Gegensatz zum Brandmelder, der sehr ähnlich aussieht und mitten im Raum installiert ist, wird der PIR oft nicht an der optimalen Position im Raum installiert.

- Leuchtstofflampen sollten nicht in Intervallen geschaltet werden, die unter 10 Minuten liegen. Das mindert das Potenzial von Regelungen mittels PIR. Bei der LED-Technik sind auch 1-Minuten-Intervalle problemlos möglich.



Abbildung 109: Beispiele von PIR: Wand-, Decken- oder Schaltermontage.

Abbildung 110: Mit der IR-Kamera aufgenommene Menschen haben rote Köpfe.



■ Nach der Montage sollten die PIR einjustiert werden. Dies geht oft vor der Bauabnahme «vergessen». Zum Glück ist die werkseitige Einstellung der PIR «auf der sicheren Seite» konfiguriert.

Untersuchungen bestätigen denn auch, dass PIR in Pilotprojekten grosse Einsparungen bringen, in normalen Gebäuden aber – wegen den oben beschriebenen Hemmnissen – nicht selten unter dem Strich praktisch gar keine Einsparung bringen (vergleiche dazu auch Abschnitt «Messprojekt: Effizienz von Regelungen»).

### Wichtige Punkte für die Planung und Installation von PIR-Anlagen

■ Wo machen PIR Sinn? Ist die Personenfrequenz genügend gering, um eine ausreichende Anzahl personenfrier Zeitfenster von mehr als 10 Minuten zu erreichen?

■ Welcher PIR macht Sinn? Es gibt verschiedene Typen: Wand-, Decken- oder Schaltermontage. Welche Empfindlichkeit ist notwendig? Die Industrie unterscheidet Präsenz- und Bewegungsmelder; das Prinzip bleibt das gleiche, die Erfassungsempfindlichkeit macht den Unterschied.

■ Standorte und Platzierung: was sieht der PIR, was nicht? Der PIR muss so sorgfältig platziert werden wie ein Brandmelder! Der Präsenzmelder-Anbieter «Swisslux» bietet unter [www.swisslux.ch](http://www.swisslux.ch) im PDF-Taschenkatalog ein gutes und umfangreiches Hilfs-

mittel zur richtigen Platzierung von Präsenzmeldern.

■ Welche PIR sollen parallel geschaltet werden? (Master ist Haupt-Sensor, Slaves sind Nebensensoren). Welche Sensoren sollen einzeln regeln (Master ohne Slave)?

■ Entfernung: die Hersteller geben Erfassungsbereiche an; diese sollten als oberste Distanzen betrachtet werden, die Auflösung von PIR nimmt mit der Entfernung stark ab (Abbildung 112).

■ Einjustierung und Funktionskontrolle: So aufwendig es auch ist, jeder PIR muss einjustiert und getestet werden.

■ Wenn möglich soll der PIR für den sogenannten halbautomatischen Betrieb eingestellt werden. So schaltet der PIR automatisch ab und muss von Hand wieder eingeschaltet werden. Der Halbautomat verhindert Fehleinschaltungen bei Personen ausserhalb des gewünschten Erfassungsbereichs oder bei andern Wärmequellen wie Kopierern oder Laserdruckern.

■ Gibt es bessere Alternativen zum PIR? Beispiele dafür sind Lichtsteuerungen wie Minuterie (im Treppenhaus), Schaltuhr (im Korridor) oder Schlüsselschalter (in der Turnhalle). Unter Umständen bringen solche Steuerungen mehr Energieeffizienz.

Die Empfindlichkeit – selbst der besten PIR – ist beschränkt. Nach dem heutigen Stand der Technik sollten die Passiv-Infrarot-Sensoren eigentlich durch Digitalkameras ersetzt werden.

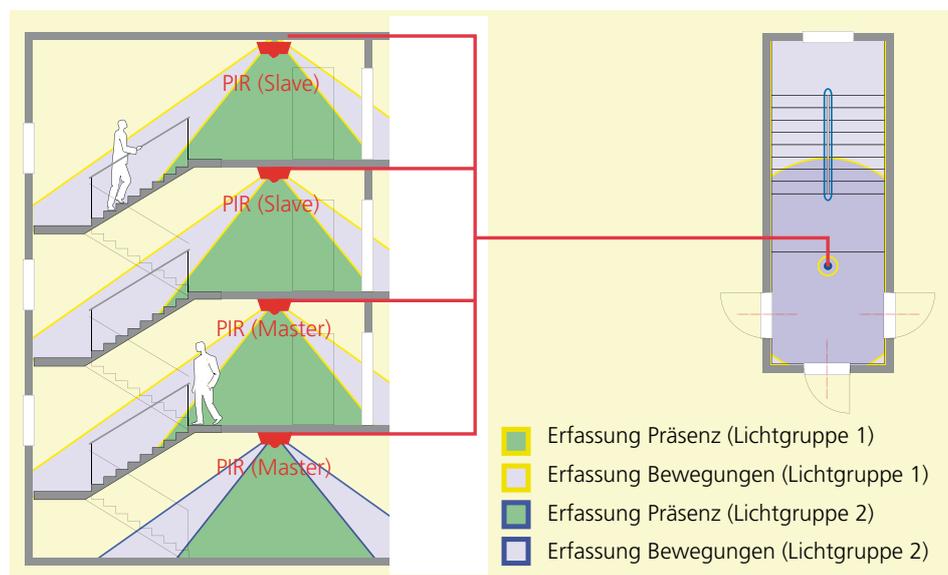


Abbildung 111:  
Planungsbeispiel  
PIR in Treppenhaus  
(Swisslux)



Blick auf einen Büroarbeitsplatz mit einer Digitalkamera aus drei Metern Entfernung



Derselbe Blick eines PIR aus drei Metern Entfernung



Blick eines PIR bei Verdoppelung der Sichtdistanz auf sechs Metern Entfernung: Die Erfassungsgenauigkeit ist stark reduziert. (gleicher Bildausschnitt wie vorher)



Aus neun Metern Entfernung ist der PIR praktisch blind (gleicher Bildausschnitt wie oben).

*Abbildung 112:  
Beim PIR verringert sich die Genauigkeit mit der Distanz sehr stark*

### Radar zur Erfassung von Bewegungen

Neben PIR werden gelegentlich zur Personenerfassung und Präsenzregelung Radarsensoren eingesetzt. Sie können Bewegungen exakter erfassen als PIR und reagieren nicht auf Wärmequellen mit festem Standort wie Laserdrucker. Der Leuchtenhersteller «Waldmann» setzt v. a. in Stehleuchten solche Hochfrequenz-Sensoren ein.

Der Radar ist im Gegensatz zum PIR nicht passiv. Analog der Geschwindigkeitsmessungen im Strassenverkehr sendet der Radar ein Hochfrequenzsignal aus und empfängt das reflektierte Signal mit einer gewissen Zeitverzögerung. Aus dieser Verzögerung wird die Geschwindigkeit errechnet oder Bewegungen festgestellt. Radarsensoren wirken auch durch Mauern hindurch; diese Eigenschaft schränkt ihren Einsatz als Präsenzmelder stark ein.

### Foto-Zelle für Tageslichterfassung

Für die Messung und Regelung des Kunstlichtes in Abhängigkeit des Tageslichtes werden Fotozellen eingesetzt; sie reagieren auf sichtbares Licht. Ihr Funktionsprinzip entspricht der Solarzelle: Fällt Licht auf den Sensor, erhöht sich der Stromfluss linear zur Intensität des Lichts (Abbildung 114). Über eine Regelelektronik wird dieser Stromfluss in ein Regulationssignal für die Abschaltung oder Dimmung einer Leuchte umgewandelt. Bei Lichtregelungen mit Präsenz-Erfassung ist der Fotosensor (als zusätzlicher Sensor!) oft direkt im Präsenzmelder integriert; die PIR sind in den meisten Fällen kombinierte Präsenz und Tageslicht abhängige Regler. Die Erfassung des Tageslichtes erfolgt allerdings ziemlich rudimentär, wie bei einer Fotokamera, die nur die Belichtungsmessung mit einer Bevorzugung der Bildmitte kennt

Abbildung 113:  
Einstell-Panel in  
kombiniertem  
Tageslicht-Präsenz-  
Sensor  
(HTS Theben)

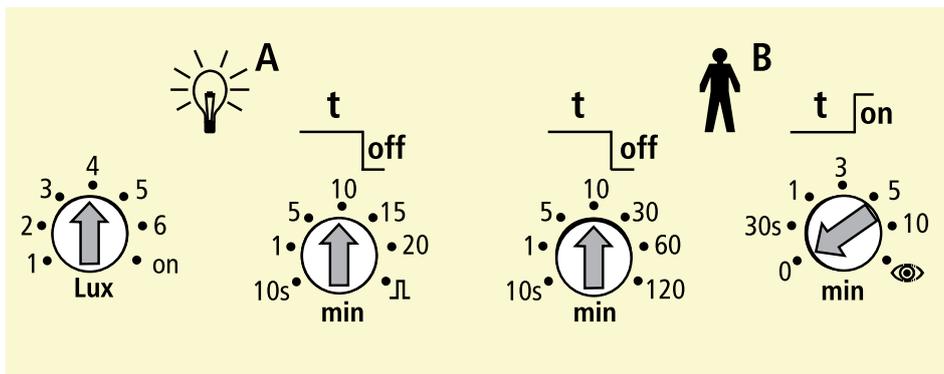


Tabelle 44:  
Vor- und Nachteile  
von unterschiedlichen  
Positionen von  
Tageslichtsensoren

Sensortyp	Vorteil	Nachteil
Raumsensor	Lichtmessung mit Tages- und Kunstlichtanteil im betroffenen Raum und Regelung des Kunstlichts	Keine Kombination mit Storensteuerung, Sensorpositionierung anspruchsvoll, bei Änderung der Einrichtung Neupositionierung nötig, pro Raum mindestens 1 Sensor nötig.
Fentersensor	Misst das Tageslicht unabhängig von der Raumeinrichtung, Sensorpositionierung relativ einfach.	Keine Kombination mit Storensteuerung, pro Raum mindestens 1 Sensor nötig.
Fassaden-sensor	Misst das effektive Tageslicht, gute Kombination mit Storensteuerung, nur wenige Sensoren nötig.	Nur Steuerung statt Regelung, aufwändige Programmierung jedes einzelnen Raumes im Gebäude nötig.
Dachsensoren	Misst den gesamten «Himmelszustand» und differenziert Direkt- und Diffuslicht. Gute Kombination mit Storensteuerung, nur ein einziger Sensor nötig.	Keine Regelung, sondern Steuerung, aufwändige Programmierung jedes einzelnen Raumes im Gebäude nötig.

und nicht einzelne Helligkeitsbereiche unterscheiden und interpretieren kann. Die Folge sind – bei ungünstiger Positionierung der Sensoren – unerwünschte Regelungseffekte: Ist unterhalb des Sensors ein schwarzer Teppich, eine helle Tischplatte oder ein Gummibaum, der von Zeit zu Zeit unplatziert wird? Der Fotosensor interpretiert derartige Unterschiede sehr ungenau. In der Praxis ist es deshalb weit verbreitet, dass die Sensoren entweder nicht einjustiert und in Werkeinstellung belassen (Position 4 in Abbildung 113) oder auf maximale Helligkeit eingestellt werden, so dass man auf der sicheren Seite ist (Position 6 in Abbildung 113). So bringt eine Tageslicht abhängige Regelung nicht viel.

Neben den in PIR integrierten Fotozellen für die Tageslichterfassung gibt es auch autonome Sensoren; sie liefern generell eine genauere Erfassung, da sie Tageslicht gerecht installiert werden können. Vier Typen können unterschieden werden: Alle haben Vor- und Nachteile.

#### CCD-Bildsensor (für die Erfassung von Bewegung und Tageslicht)

Der Passiv-Infrarot-Sensor wurde zu einer Zeit erfunden, als die digitale Fotografie

noch nicht bekannt bzw. sehr teuer war. Die Technologie des PIR ist aus heutiger Sicht überholt, denn die hochauflösenden CCD-Bildsensoren sind zu geringen Kosten verfügbar (CCD = charge coupled device). Noch sind auf dem Markt keine Lichtsensoren erhältlich, die die moderne CCD-Technik nutzen.

#### Vorteile der CCD-Technik

- Sehr hohe Auflösung und somit sehr grosser und präziser Erfassungsbereich (Abbildung 115)
- Weniger Sensoren notwendig, weniger Energieverluste
- Präsenz- und Tageslichterfassung mit einem einzigen Sensor
- Bildverarbeitung ermöglicht genaue Definition des Erfassungsbereichs
- Keine Fehlerfassungen von Laserdruckern oder Personen ausserhalb des definierten Erfassungsbereichs.
- Einfache Einjustierung via Software und PC-Bildschirm

Abbildung 114:  
Dachsensor für Konstantlichtsteuerung (Zumtobel)



Abbildung 115:  
Exakte Raumerfassung mittels CCD-Sensor und Bildverarbeitung

### 6.3 Wirkung und Eigenenergieverbrauch

Zweifellos kann ein Lichtmanagementsystem (LMS) einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz eines Gebäudes leisten. Je nach Standort, Gebäude und Nutzung können gegenüber einer unregelmäßigen Beleuchtung 10 % bis zu 50 % Strom eingespart werden. Doch werden für ein umfassendes Lichtmanagementsystem auch zahlreiche Komponenten benötigt, die einen Eigenverbrauch an Energie haben. Und weil solche Systeme rund um die Uhr in Betrieb sind, kann dieser Eigenverbrauch in Abhängigkeit der eingesetzten Komponenten beträchtlich sein und einen Teil der Energieeinsparung kompensieren.

#### Beispiel eines LMS

In einem Schulhaus mit einer Fläche von 5000 m<sup>2</sup> sind total 1500 Leuchten mit einer durchschnittlichen Leistung von 40 Watt installiert. Es stehen drei Varianten zur Diskussion:

1. Das Schulhaus hat kein Lichtmanagementsystem. Gemäss Norm SIA 380/4 er-

gibt sich eine erwartete jährliche Vollstundenzahl für die Beleuchtung von 1500 h/a.

2. Das Schulhaus besitzt ein Lichtmanagementsystem. Es werden dimmbare elektronische DALI-Vorschaltgeräte eingesetzt. Ferner 200 Sensoren zur Tageslicht- und Präsenzerfassung. Sensoren und Vorschaltgeräte werden in zwölf Steuergeräten zusammengefasst und die Steuergeräte über das Internet mit einer PC-Station zur Überwachung und Steuerung verbunden. Gemäss SIA 380/4 wird eine Reduktion der Stundenzahl von 30 % erwartet.

3. Das Schulhaus besitzt ein Lichtmanagementsystem. Es entspricht der Variante 2, es werden aber die besten Komponenten mit den geringsten Eigenenergieverbräuchen eingesetzt.

Das Modell zeigt eindrücklich, dass der Eigenverbrauch der für ein Lichtmanagementsystem notwendigen Komponenten – und es sind sehr viele! – entscheidend ist für den Einsparerfolg. Werden nur durchschnittliche Komponenten eingesetzt, schmilzt die erhoffte Einsparung gegen Null. Aber auch bei besten Komponenten

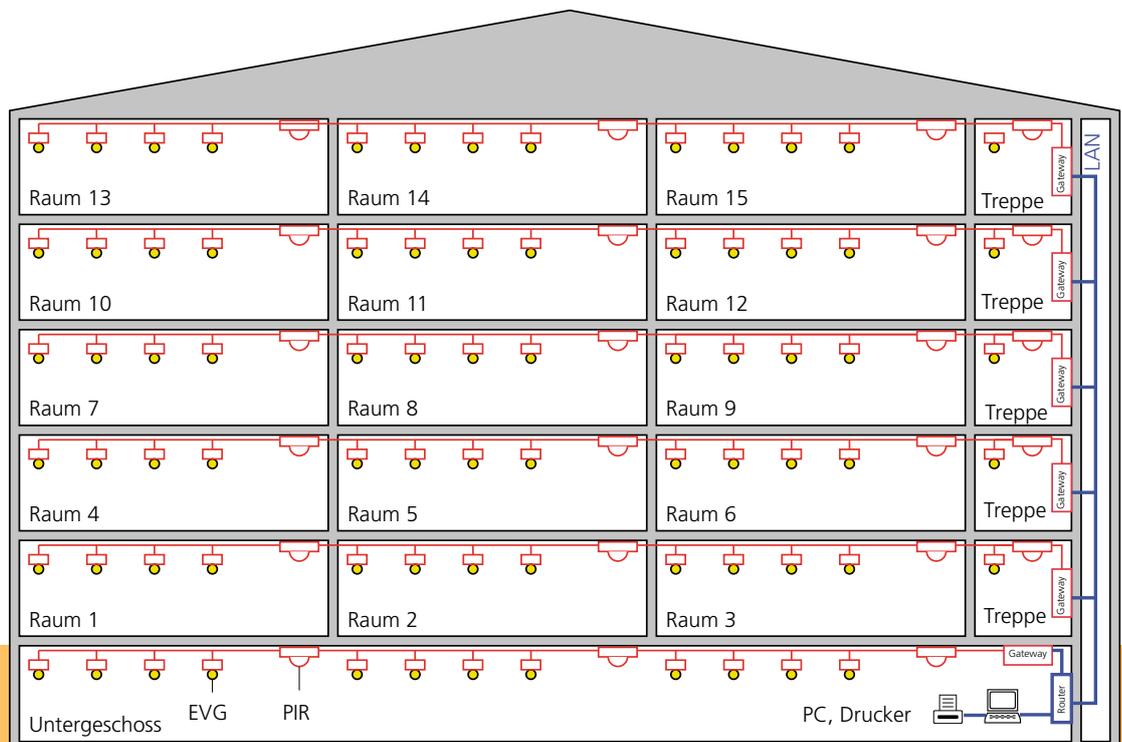


Abbildung 116:  
Komponenten eines  
Lichtmanagement-  
systems

vernichtet der Eigenverbrauch der Komponenten gut 15 % der erwarteten Einsparung (Tabelle 45).

Die aufgezeigte Problematik lässt sich auch für andere technische Anlagen, die über ein Gebäudeautomatisierungssystem überwacht und gesteuert werden, übertragen. Von den Herstellern wird der Eigenverbrauch zumeist marginalisiert. Mit dem heutigen Stand der Technik dürfte eine einfache Lichtregulierung ohne zentrale Erfassung deutlich bessere Resultate bezüglich Energieeffizienz liefern als komplexe Gebäudeautomatisierungssysteme.

#### 6.4 Effizienz von Regelungen (Messprojekt)

Das Rechenmodell für die Volllaststundenzahl der Norm SIA 380/4 wurde auf Basis von Messungen und Computer-Simulationen erstellt und so vereinfacht, dass es sich für Planungen eignet. Wie genau ist dieses Betriebsstundenmodell in der praktischen Anwendung und wie zuverlässig funktionieren Tageslicht und Präsenz abhängige Regelungen wirklich? Diese Fragen versuchte das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich im Jahr 2007 mittels einer Mess-

kampagne an 46 Beleuchtungsanlagen in elf Schulhäusern zu klären.

#### Messkampagne

Anfang Juli 2006 wurden an 46 ausgewählten Beleuchtungsanlagen in elf Schulhäusern der Stadt Zürich Messgeräte mit Datenlogger montiert. Die Logger wurden jeweils direkt an den Leuchten – mit einem Abstand von 2 cm bis 5 cm zum Leuchtmittel befestigt (Abbildung 117). Die Logger generierten alle 15 Minuten Werte der Beleuchtungsstärke. Während der total 156 Messtagen wurden 1,4 Mio. Messwerte erfasst.

#### Resultate

Ein erstes Resultat der Datenauswertung liefert den Zusammenhang zwischen der Globalstrahlung (Sonnenlicht) und dem Kunstlicht in den Räumen mit Tageslicht. Abbildung 118 zeigt den Verlauf der Globalstrahlung zwischen Juni und Dezember 2006 (rote Kurve: Daten von Meteo Schweiz). Ferner sind die Betriebszeiten der Kunstbeleuchtung in zwei verschiedenen Schulzimmern dargestellt. Die blaue Kurve stammt von einem Schulzimmer mit gut funktionierender Tageslichtsteuerung:

	Lichtmanagementsystem (LMS)		
	Variante 1: Ohne LMS	Variante 2: LMS Standard	Variante 3: LMS optimal
Beleuchtete Fläche	5000 m <sup>2</sup>	5000 m <sup>2</sup>	5000 m <sup>2</sup>
Anzahl Leuchten	1500	1500	1500
Mittlere Leistung pro Leuchte	40 W	40 W	40 W
Anzahl DALI-EVG	0	1500	1500
Verlustleistung pro DALI-EVG	0 W	1 W	0,2 W
Anzahl Sensoren	0	200	200
Leistungsaufnahme pro Sensor	0 W	4 W	1 W
Anzahl Steuergeräte	0	12	12
Leistungsaufnahme pro Steuergerät	0 W	15 W	10 W
Leistungsaufnahme Router	0 W	20 W	10 W
Leistungsaufnahme PC und Drucker	0 W	100 W	50 W
Gesamtleistung aller Leuchten	60,0 kW	60,0 kW	60,0 kW
Gesamtleistung des LMS	0,0 kW	2,6 kW	0,7 kW
Volllaststunden der Leuchten	1500 h/a	1050 h/a	1050 h/a
Volllaststunden des LMS		8760 h/a	8760 h/a
Energieverbrauch Beleuchtung	90 000 kWh/a	85 776 kWh/a	68 957 kWh/a
Energiekennzahl Beleuchtung	18,0 kWh/m <sup>2</sup>	17,2 kWh/m <sup>2</sup>	13,8 kWh/m <sup>2</sup>
Erwartete Energieeinsparung mit LMS		-30 %	-30 %
Effektive Energieeinsparung mit LMS		-5 %	-25 %

**Tabelle 45:**  
Vergleich der Varianten und deren Auswirkung auf den Energieverbrauch

Je mehr Sonnenlicht vorhanden ist, desto kleiner sind die Betriebsstunden der künstlichen Beleuchtung. Sehr gut sichtbar sind auch die Wochenenden sowie die Schulferien im Sommer und im Herbst. Im Schulzimmer mit der grauen Messkurve ist ebenfalls eine vom Tageslicht abhängige Steuerung installiert. Eine Jahres- und Wetterabhängigkeit ist aber nicht feststellbar; diese Steuerung funktioniert demnach nicht wie geplant.

### Präsenzmelder (PIR) in Schulzimmern funktionieren meistens gut

Gemäss Auswertung von Messdaten aus Schulzimmern mit Präsenzmeldern und integrierter Tageslicht abhängiger Schaltung (PIR) werden die erwarteten Einsparungen in den meisten untersuchten Schulräumen tatsächlich erbracht. Abbildung 119 zeigt beispielhaft die Verteilung der Lichtströme, die während eines halben Jahres in einem Schulzimmer mit Präsenzmeldern und in einem anderen Schulzimmer ohne Präsenzmeldern registriert wurden; die vertikale Linie zwischen 15 % und 70 % Lichtstrom ergibt die Volllaststundenzahl. Oberhalb 70 % Lichtstrom wird ersichtlich, dass eine brennende Lampe nicht immer gleich viel Licht abgibt; je nach Einschaltdauer und Betriebstemperatur können grössere Schwankungen auftreten. Der Mensch kann diese Schwankungen allerdings nicht wahrnehmen; ein Faktor 1,5 stellt den kleinsten gerade noch wahrnehmbaren Unterschied bei der Beleuchtungsstärke dar. Unterhalb 15 % Lichtstrom ist der Einfluss des Tageslichtes sichtbar, welches auf den Sensor an der Leuchte trifft. Auch in Verkehrsflächen

ohne Tageslicht können grosse Einsparungen durch Einsatz von Präsenzmeldern klar nachgewiesen werden. In acht Korridoren lagen die Messwerte im Schnitt bei 1750 Volllaststunden, der Grenzwert SIA 380/4 (ohne PIR) liegt bei 2870, der Zielwert mit PIR bei 1720 Volllaststunden pro Jahr.

Unerfreuliche Resultate bringt die Messauswertung für Korridore mit Tageslicht an den Tag. Die Messwerte liegen mit 1560 Volllaststunden sogar über dem Grenzwert SIA 380/4 von 1260 Volllaststunden. Die Analyse der PIR-Sensoren im Korridor zeigte die Ursache. Viele Sensoren wurden nicht justiert und im Lieferzustand (300 Lux bis 500 Lux) an der Decke montiert.

**Fazit:** Die Einregelung der Tageslichtsensoren muss unbedingt eingefordert werden, sonst bringen Tageslicht abhängige Schaltungen in Verkehrsflächen nichts – ausser Kosten.

### Konstantlichtregelungen haben Ihre Tücken

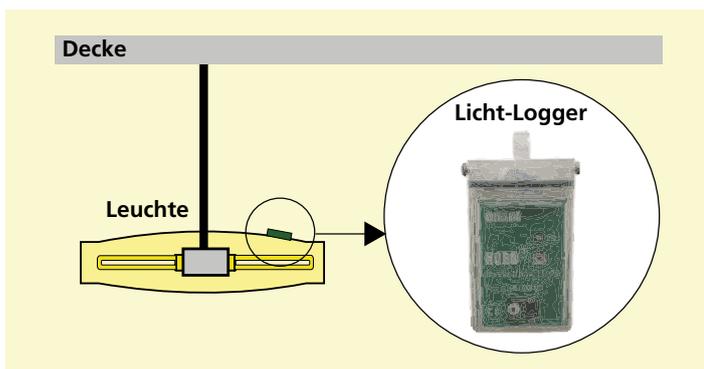
Gemessen wurden auch zwei Schulhäuser mit Konstantlichtregelungen, d.h. das Kunstlicht wird kontinuierlich so gedimmt, dass die Beleuchtungsstärke als Summe von Kunst- und Tageslicht auf der Arbeitsfläche immer gleich hoch ist. Theoretisch ergäbe sich bei einer solchen Lichtregelung eine maximale Energieeinsparung. In der Praxis kommen aber zwei technisch bedingte Aspekte dazu, welche den Einspareffekt von Konstantlichtregelungen stark mindern:

- der Standby-Verbrauch im ausgeschalteten Zustand und
- die überproportionale Betriebsleistung bei niedriger Dimmung.

In der Messkampagne wurden die elektrischen Leistungen zwar nicht gemessen, die Leistungs-Lichtstrom-Kennlinie und die Standby-Leistungen von dimmbaren Vorschaltgeräten werden aber von den Herstellern gut deklariert, so dass eine Umrechnung auf die effektive elektrische Leistung in Abhängigkeit des Lichtstromes respektive des Dimmgrades einfach ist.

Abbildung 120 zeigt die elektrische Leistungsaufnahme einer Konstantlichtregelung an zwei ausgewählten Tagen, jeweils

Abbildung 117:  
Messinstallation an  
46 Leuchten in elf  
Schulhäusern der  
Stadt Zürich



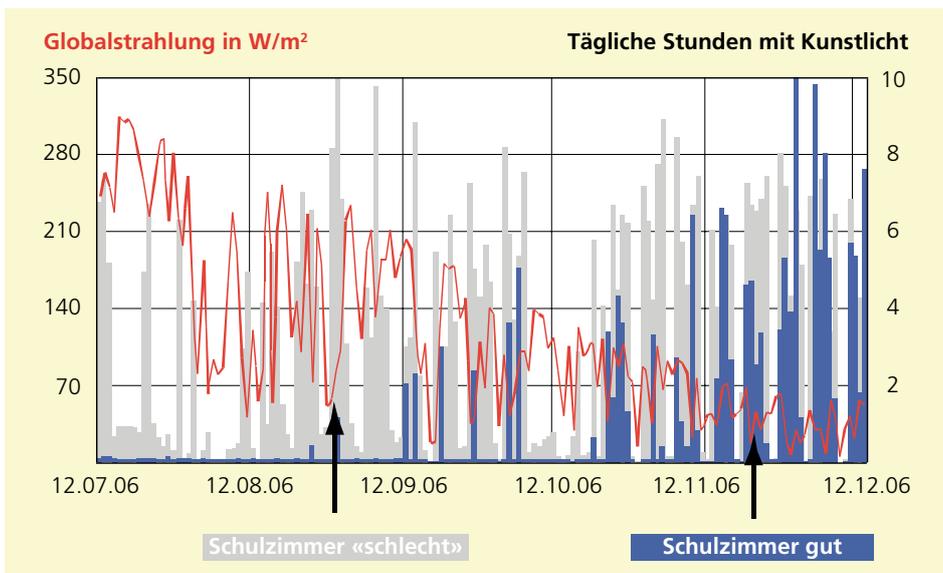


Abbildung 118: Jahreszeitliche Veränderung der Globalstrahlung und der Betriebszeiten der künstlichen Beleuchtung in zwei verschiedenen Schulzimmern mit vom Tageslicht und von der Präsenz abhängiger Steuerung.

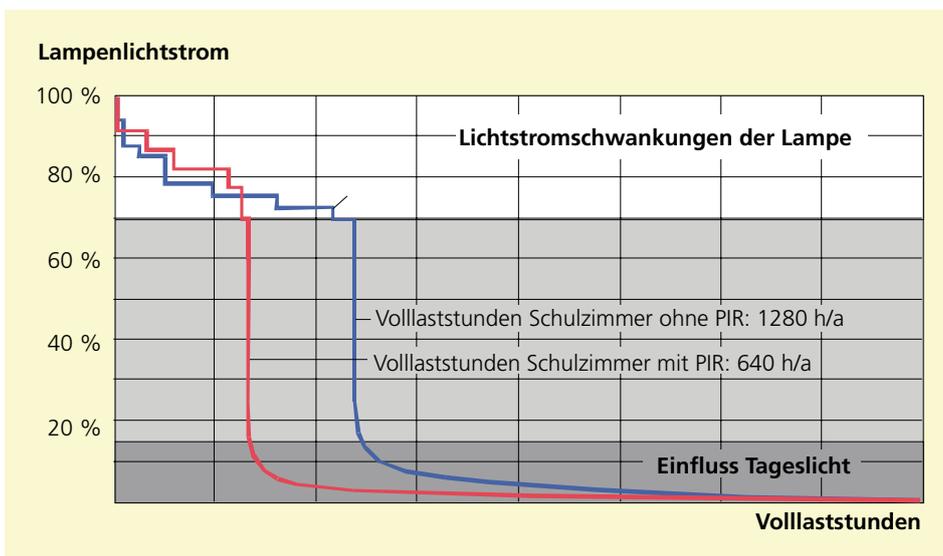


Abbildung 119: Messung der Volllaststunden für Beleuchtung in zwei Schulzimmern, mit und ohne Präsenzmelder.

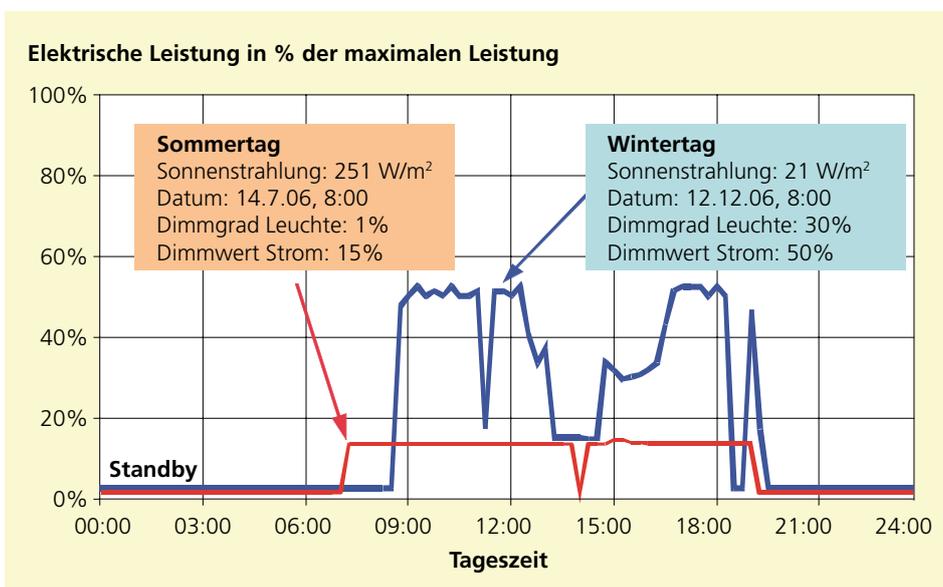


Abbildung 120: Tagesprofil der elektrischen Leistung bei einer Konstantlichtregelung

im Sommer und im Winter. Gut sichtbar sind an beiden Tagen die Standby-Verlustleistungen der Vorschaltgeräte während der Nacht. Am trüben Wintertag (blaue Kurve) schwankt der Kunstlichtanteil zwischen 20 % und 50 %, die Regelung erfüllt ihren Zweck perfekt. Anders im Sommer (rote Kurve): Am strahlend schönen 14. Juli 2006 brauchte es kein Kunstlicht; die Regelung lässt das Kunstlicht aber auf wenigen Prozenten Lichtstrom stehen. Diese 2 % bis 3 % Lichtstrom verursachen eine elektrische Leistungsaufnahme von 15 % der maximalen Leistung.

Im ungünstigsten Fall (Räume mit weniger als 1000 Nutzungsstunden pro Jahr) verbrauchen Konstantlichtanlagen also mehr Energie, als sie einsparen. Abhilfe ist in jedem Fall nötig und auch möglich:

- Standby der Regelung durch Relais-Schaltung im Elektro-Tableau ausserhalb der Betriebszeiten abschalten oder Vorschaltgeräte mit sehr kleinen Verlusten verwenden (kleiner 0,3 Watt).

- Dimmwerte der Beleuchtung unter 20 % vermeiden und die Leuchten für diese Betriebsweise in den Standby setzen oder ganz abschalten.

Installation und Inbetriebnahme von Konstantlichtregelungen sind deutlich anspruchsvoller als dies bei einfachen Tageslicht-Schaltungen der Fall ist. In der Messkampagne der Stadt Zürich hat die Konstantlichtregelung in einem der zwei untersuchten Schulhäuser gut funktioniert, im andern Gebäude nicht. Die Skepsis grosser Bauherrschaften – wie der Stadt Zürich – in Bezug auf Konstantlichtregelungen ist also angebracht.

**Fazit:** Über die Einsparpotenziale von Tageslicht abhängigen Regelungen und Präsenzmeldern wird viel debattiert. Von Industrieseite werden oft beeindruckende Messungen präsentiert, die zeigen, wie hoch Energieeinsparungen von solchen Regelungen sind. Allerdings darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass Einsparungen von bis zu 50 % nur bei optimalen Tageslichtverhältnissen und korrekter Installation und Inbetriebnahme wirklich erreicht werden können. Für die Beurteilung

der Tageslichtsituation bietet das Berechnungstool des SIA zur Beleuchtung (beziehbar unter [www.energytools.ch](http://www.energytools.ch)) ein zuverlässiges Instrument.

Die Tageslichtkampagne wurde 2006 durchgeführt, als im grösseren Stil noch keine LED-Beleuchtungsanlagen zur Verfügung standen. 2011 hat sich dies stark verändert – immer häufiger werden Teile oder ganze Gebäude mit LED-Technik ausgerüstet; die LED-Technik bietet den Vorteil, dass sie im Gegensatz zur Leuchtstofflampen verlustfrei und flink dimmbar sind. Durch Einsatz von LED könnten die oben beschriebenen Probleme mit der Lichtregulierung teilweise behoben werden.

## 6.5 Korridorbeleuchtung mit LED (Pilotprojekt)

Das Hochhaus Werd in der Stadt Zürich wurde 2005 total saniert. Beim Umbau wurde speziell auf Nachhaltigkeit und Energieeffizienz geachtet, auch bei der Beleuchtung. So wurden die ersten Minerale-Stehleuchten eingesetzt, die für dieses Gebäude entwickelt wurden und halb so viel Strom brauchen wie damals übliche Stehleuchten. Auch die Korridorbeleuchtung wurde nach dem damals besten Stand der Technik realisiert. Das architektonische Konzept verlangte durchgehende Lichtbänder (Abbildung 122). Diese wurden mit den effizientesten Leuchtstoffröhren (35 Watt, Typ T5) bestückt; und weil die Lichtbänder bei Volllast mehr als die verlangten 100 Lux Beleuchtungsstärke lieferten, wurde eine konstante Dimmung der elektronischen Vorschaltgeräte auf rund 60 % des Lichtstromes programmiert. Mittels Bewegungsmeldern wurde zudem eine automatische Abschaltung der Korridorbeleuchtung bei Abwesenheit von Personen installiert (nach jeweils 10 Minuten).

Messungen zeigten später, dass die Personenfrequenz in den Korridoren so hoch ist, dass es mit der 10-minütigen Ausschaltverzögerung bei den Bewegungsmeldern nur zu sehr wenigen Abschaltungen kommt und die erhoffte Reduktion der Betriebszeiten dieser Beleuchtung mit über

3000 Stunden pro Jahr bei weitem nicht erreicht wird. Da man Leuchtstofflampen wegen ihrer langsamen Aufstartzeit von mehreren Minuten aber nicht kürzer schalten sollte, gab es keine Möglichkeit, die Beleuchtungsregelung in den Korridoren zu optimieren.

Mit dem Einzug der LED-Technik steht nun neu eine Beleuchtungstechnik zur Verfügung, die viel flinker geregelt werden kann und die zudem keine Verluste bei der Dimmung aufweist – im Gegensatz zur Dimmung von Leuchtstofflampen. Mit einem Pilotprojekt in einem Korridor des Verwaltungszentrums Werd wollte das Amt für Hochbauten testen, wie viel Energie sich beim Ersatz eines 30 Meter langen Lichtbandes durch LED und gleichzeitiger Reduktion der Verzögerungszeiten bei den Bewegungsmeldern einsparen lässt.

### Messungen

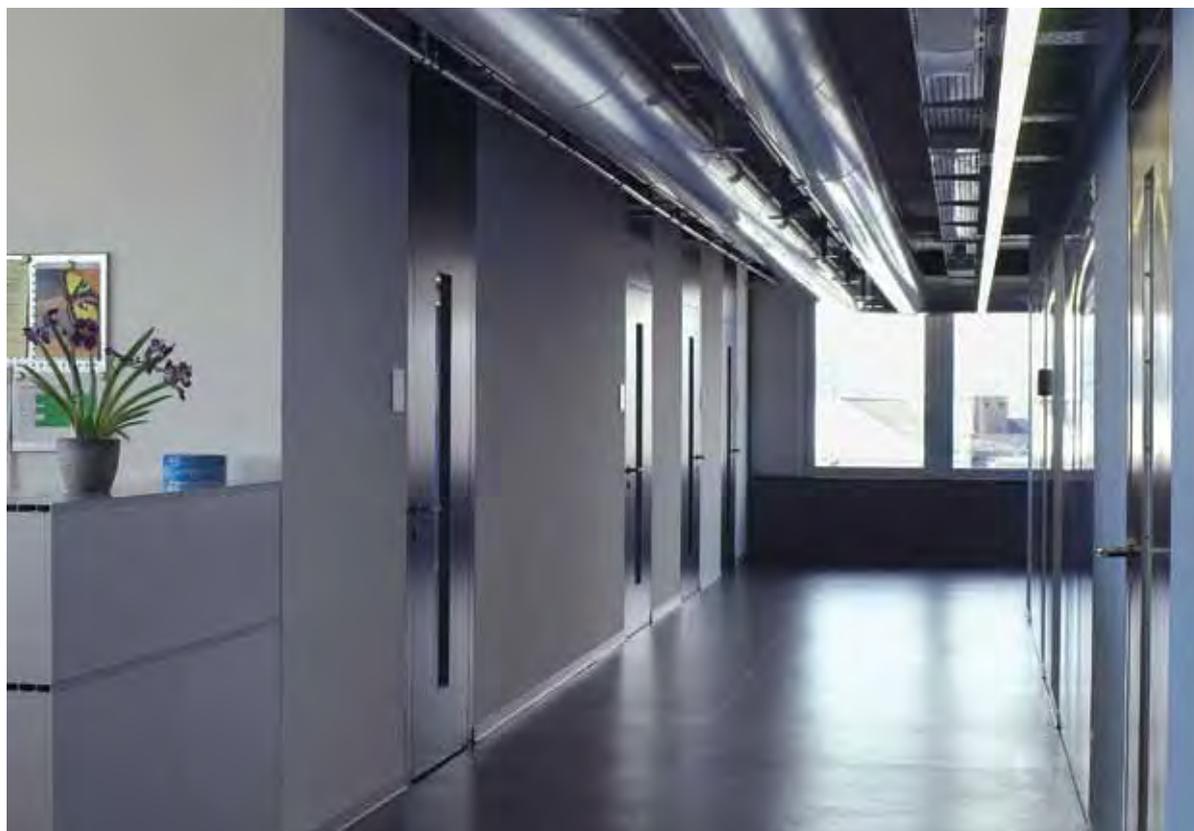
Es wurden zwei identische Korridore (30 m auf 2,4 m) während mehrerer Wochen mit je einem Energie- und Leistungsmessgerät ausgemessen (Abbildung 121). In beiden Korridoren herrschen dieselben Beleuch-

tungsstärken und Lichtverteilungen. Die zwei Beleuchtungen lassen sich kaum unterscheiden:

- Korridor 1 mit Leuchtstofflampen und Präsenzmeldern mit 10-Minuten-Intervall
- Korridor 2 mit LED-Licht-Linie und Präsenzmeldern mit 1-Minute-Intervall

Das Resultat ist beeindruckend. Die LED-Beleuchtung spart gegenüber der bisherigen Leuchtstofflampentechnik über 80 % elektrische Energie ein.

**Abbildung 121:**  
Energie- und Leistungsmessgerät mit Datenlogger für SD-Karte



**Abbildung 122:**  
Innenansicht Verwaltungszentrum Werd mit Korridor

- Einerseits reduziert sich die elektrische Leistung, weil LED im Gegensatz zu Leuchtstofflampen keine Dimmverluste ausweisen; im vorliegenden Fall von 5,9 W/m<sup>2</sup> (Leuchtstofflampen) auf 2,6 W/m<sup>2</sup> (LED).
- Andererseits reduzieren sich die täglichen Betriebszeiten aufgrund der kürzeren Schaltzeiten von durchschnittlich 13,2 h/d bei der Beleuchtung mit Leuchtstofflampen auf 5,7 h/d bei LED. Während die Leuchtstofflampen über die Bewegungsmelder lediglich 4-mal pro Tag ein- und ausschalten, sind es bei der LED-Beleuchtung über 100-mal.
- Daraus ergibt sich eine Reduktion der Energiekennzahl Beleuchtung für die Korri-

dorbeleuchtung von 19,5 kWh/m<sup>2</sup> auf 3,6 kWh/m<sup>2</sup>, was einer effektiven Energieeinsparung von 81 % entspricht (Abbildung 123 und Abbildung 124). Es stellte sich auch die Frage, ob das häufige Ein- und Ausschalten das Personal beeinträchtigt. Systematische Befragungen dazu wurden zwar keine gemacht, aber es sind auch keine Reklamationen bekannt; offensichtlich bemerkten die Angestellten gar keine Änderung. Ergänzend dazu wurde versuchsweise eine zusätzliche Stufe in der LED-Beleuchtung eingefügt, bei welcher das Licht nicht völlig ausschaltet, sondern auf 15 % Lichtstrom bleibt. Durch dieses Komfortlicht, welches den Effekt des häufigen Schaltens stark lin-

Abbildung 123: Tagesgang der Leistung an einem typischen Werktag; der LED-Korridor braucht 81 % weniger Energie als der Korridor mit den Leuchtstofflampen

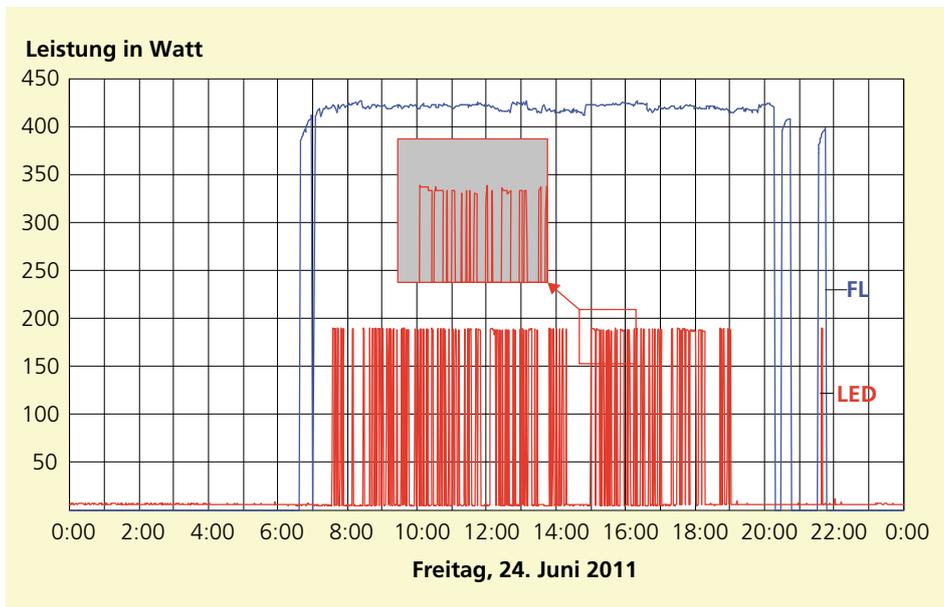
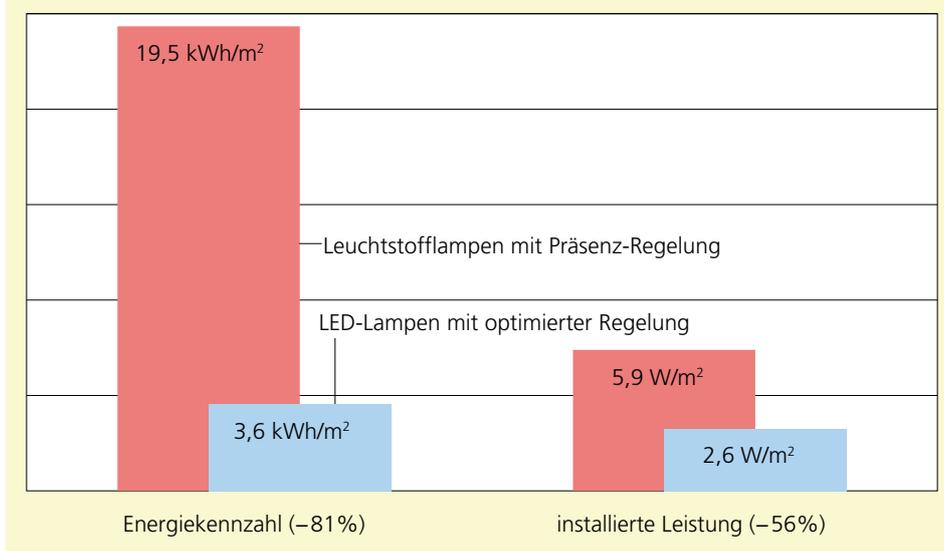


Abbildung 124: 56% Einsparung bei der installierten Leistung und 81% Einsparung beim Energieverbrauch



dert, geht die Einsparung zurück, allerdings nur geringfügig: die Gesamteinsparung sinkt von 81 % auf 77 %.

### Energiebilanz und Wirtschaftlichkeit

Hochgerechnet auf ein Jahr ergibt sich eine Reduktion der Energiekennzahl Beleuchtung von 19,5 kWh/m<sup>2</sup> (Grenzwert SIA: 19,0 kWh/m<sup>2</sup>) bei der bisherigen Beleuchtung mit Leuchtstofflampen auf 3,8 kWh/m<sup>2</sup> (Zielwert SIA: 7,5 kWh/m<sup>2</sup>) mit LED-Leuchten.

Es ergibt sich eine jährliche Stromersparung von 15,7 kWh/m<sup>2</sup> oder 3.10 Fr./m<sup>2</sup>, das entspricht 7.50 Fr/a. pro Laufmeter Korridor. Da LED-Leuchten während der gesamten Nutzungszeit (15 Jahre) keine Ersatzlampen benötigen, mindern sich auch die Unterhaltskosten – erfahrungsgemäss um etwa den gleichen Betrag wie die Energiekosteneinsparung. Bei einer angenommenen Mehrinvestition von 100 Franken pro Laufmeter LED-Licht im Korridor ergibt sich also eine Amortisationszeit der LED-Beleuchtung von gut sechs Jahren.

### Fazit

Dieses Resultat zeigt exemplarisch, dass die LED-Technik mit entsprechender Lichtregelung ein enormes Sparpotenzial aufweist gegenüber heute üblichen, als energieeffizient geltenden, Korridorbeleuchtungen. Beachtenswert ist ausserdem, dass Lichtregelungen in heute üblichen Beleuchtungsanlagen in der Praxis meist viel weniger Einsparungen bringen als vermutet. Der Einsatz von LED bringt auch gestalterische Vorteile: Die unbeliebten «Schattenschnäuze» wie zwischen den Leuchtstofflampen sind bei LED-Lampen nicht vorhanden (Abbildung 125).

Abbildung 125: Übergang von einer Leuchte zur anderen: links Leuchtstofflampe, rechts LED (Leuchten: Slot von Zumtobel)

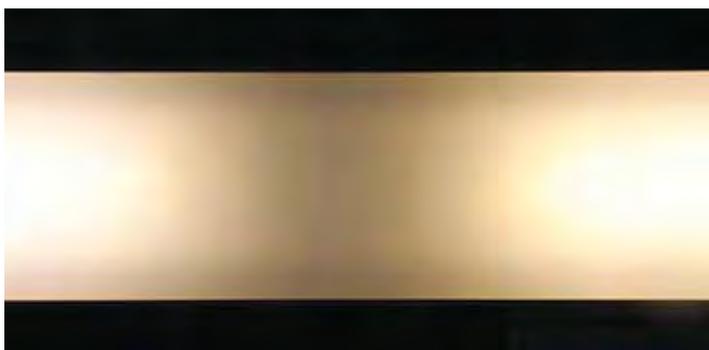
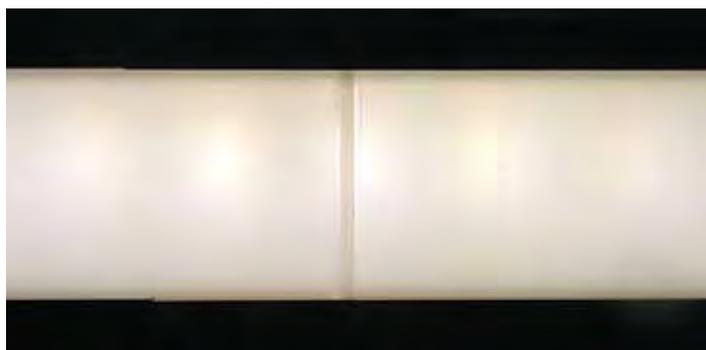


Tabelle 46: Energiebilanz LED versus FL

	LED-Lampen	Kompaktleuchtstofflampen
max. Betriebsleistung	187 W	420 W
Betriebsstunden	1463 h/a	3343 h/a
Energieverbrauch	274 kWh/a	1404 kWh/a
Energiekennzahl	3,8 kWh/m <sup>2</sup>	19,5 kWh/m <sup>2</sup>
	0.80 Fr./m <sup>2</sup> a	3.90 Fr./m <sup>2</sup> a
Grenzwert SIA 380/4		19,0 kWh/m <sup>2</sup>
Zielwert SIA 380/4		7,5 kWh/m <sup>2</sup>
Anforderung Minergie		10,5 kWh/m <sup>2</sup>





## Kapitel 7

# Planung und Optimierung

## 7.1 Grundlagen der Beleuchtungsplanung

Innenraum ist nicht gleich Innenraum. Um die Beleuchtung für Innenräume festzulegen, ist es erforderlich, die Nutzung und den Nutzer zu kennen, die Sehaufgabe genau zu definieren und das Materialkonzept mit Oberflächenbeschaffenheit, Farbkonzept, Glanzgrad, etc. zu kennen. Die Dimensionen des Raumes müssen ebenfalls bekannt sein und innenräumliche Bezüge manifestieren sich wiederum im Beleuchtungskonzept.

Anforderungen im privaten Wohnen unterscheiden sich grundsätzlich von industriellen Standards. Im privaten Wohnen existieren zudem keine Normen. Im beruflichen Umfeld ist weitgehend alles geregelt.

Licht verleiht den Objekten Gestalt und setzt Raum und Form, Farbe und Oberfläche zueinander in Beziehung und macht sie wiederum wahrnehmbar. Licht selbst nimmt damit keine objekthaften Eigenschaften an. Es wird lediglich durch die «Berührung» mit der Oberfläche eines Gegenstandes sichtbar und damit auch spürbar und wird durch die Reflexion auf Flächen zum optischen Material.

Licht bestimmt unser Zeitempfinden und lässt uns den Tagesrhythmus und den Wechsel der Jahreszeiten erleben. Licht lässt aber auch die Nacht zum Tage werden. Das künstliche Licht macht uns vom Tageslicht unabhängig.

Licht ermöglicht es, Räume zu modifizieren, ohne sie physisch zu ändern. Licht kann Räume erweitern und verkleinern, Verbindungen schaffen oder Bereiche voneinander abgrenzen und den Oberflächen Farbe verleihen. Mehr noch: Licht lenkt den Blick, steuert unsere Wahrnehmung und beeinflusst unsere Aufmerksamkeit. Licht schafft somit Wahrnehmungshierarchien. Licht kann aber auch Erinnerungen wecken, Assoziationen schaffen und Stimmungen auslösen.

Dass das Licht nicht einheitlich handhabbar, sondern örtlich und zeitlich abhängig ist, zeigen uns kulturelle Aspekte. Einen äusserst wichtigen Stellenwert hat der Schatten oder auch die Dunkelheit oder Dunkelzone, die bewusst eingesetzt wird, um speziellen Raumzonen oder Räumen ihren eigenen Charakter zu verdeutlichen. Es ist möglich, die physikalischen Eigenschaften einer Beleuchtungssituation zu berechnen und zu messen, doch entscheiden schlussendlich ein äusserst komplexer Sehvorgang und die subjektive Wahrnehmung über den Erfolg eines Beleuchtungskonzeptes. Aus diesem Grunde kann sich die Lichtplanung nicht auf die technische Konzeption alleine beschränken, sondern muss die Wahrnehmung wie auch zunehmend wahrnehmungspsychologische Aspekte in die Überlegungen miteinbeziehen. Die Aufgabe besteht nun darin, die Lichtplanung als integralen Bestandteil eines architektonischen Gesamtentwurfes konzeptuell und thematisch so auszuführen, dass eine visuelle Umgebung entsteht, welche die Bedürfnisse und Tätigkeiten der Menschen berücksichtigt, ihr Wohlbefinden fördert und auf die Architektur eingeht, sodass die gewollte Lichtwirkung und damit einhergehend die Raumwirkung sich entfalten kann. Hauptkriterium für eine wahrnehmungsorientierte Lichtplanung kann nicht die Anzeige eines Messinstrumentes sein, sondern der Mensch und die Art und Weise, wie die Beleuchtung den visuellen Ansprüchen gerecht wird. Das Sehen ist ein informationsverarbeitender Prozess. Damit wird der visuellen Umgebung ein Inhalt zugesprochen, der mehr zu sein scheint als die reine Bespielung optisch wirksamer Flächen. Der «Zuschauer» ist damit nicht der passive Rezeptor, sondern der aktive Faktor im Wahrnehmungsprozess, der die Bilder seiner visuellen Umgebung aufgrund einer Vielzahl von Erwartungen, Erfahrungen und Bedürfnissen konstruiert. Aus Nachhaltigkeits-Überlegungen wurde zudem

ersichtlich, dass die Effizienz einer Beleuchtung nicht in der Lampe oder der Leuchte oder im Raum liegt, sondern im gesamten System Lampe (besser noch Lampe und Vorschaltgerät), Leuchte (Reflektoren, Optiken, Thermomanagement) und Raum (Art der Verbauung, Raumdimensionen und Oberflächenbeschaffenheit wie Reflexionsgrad und Glanzgrad) zu finden ist. Diese Erfahrung hat auch ein neues Verständnis für die Ablösung der Energieetikette zugunsten des Minergie-Labels für Beleuchtungskörper generiert, obwohl damit noch keinesfalls sicherge-

stellt ist, dass das gesamte System funktioniert. Moderne Berechnungstools wie Relux oder Dialux beziehen sich jedoch auf die Raumfaktoren ebenso wie auf verlässliche Leuchtendaten. Insofern hat die Zuverlässigkeit der Grunddaten sehr viel mit der Voraussage einer Lichtqualität und einer Lichtquantität zu tun.

Neben Bedürfnisanalyse, Nutzwertanalyse, Wirtschaftlichkeitsanalyse, Energetischer Analyse, die vielfach zur Entscheidungsfindung herangezogen werden, sind die eigentlichen Arbeitsschritte in der Lichtkomposition und deren Darstellung

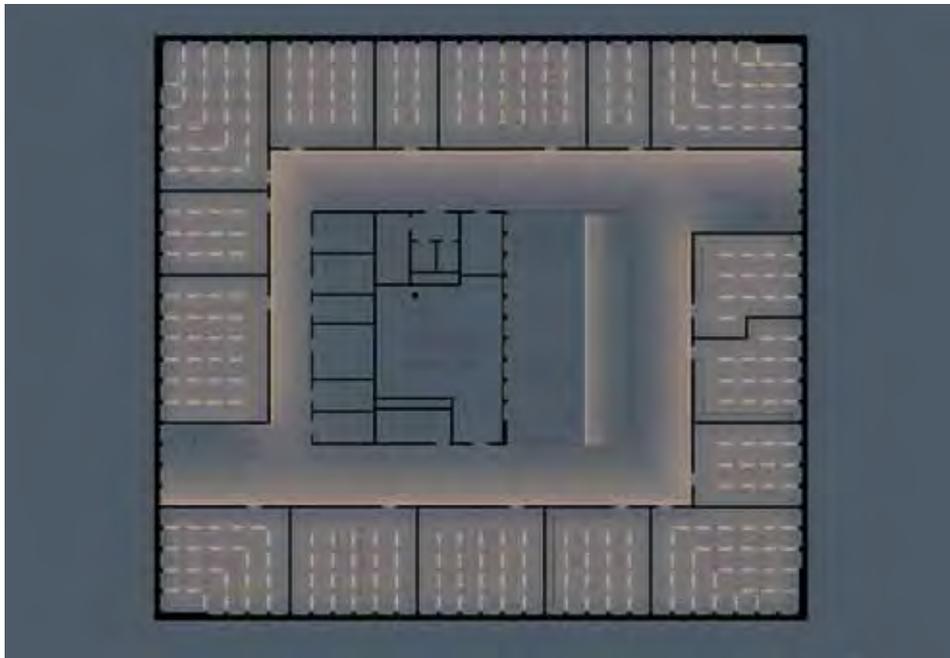


Abbildung 126:  
Grauplan mit eingezeichneter Lichtführung

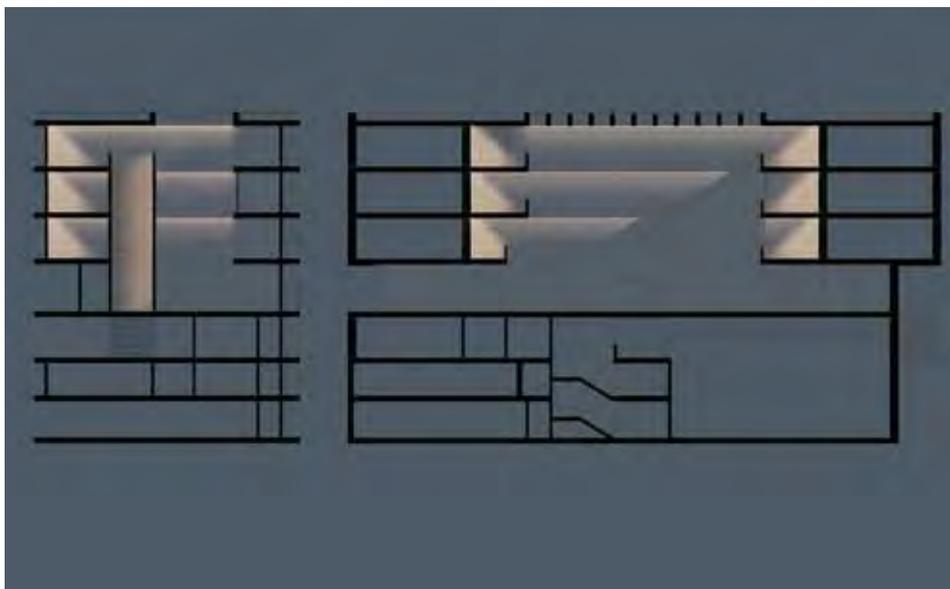


Abbildung 127:  
Schnittdarstellung der Lichtführung

zu finden. Dabei kann das Imagebild, ein Moodboard, lichttechnische und realistische Visualisierungen, räumlichen Visualisierungen bis hin zur 3D-Darstellung, aber auch einfache Graupläne und Lichtpläne das richtige Medium sein, um ein Projekt möglichst nachvollziehbar dem Auftraggeber näher zu bringen.

Der Phasenablauf gestaltet sich dabei ähnlich der Vorgabe SIA 108, Honorarordnung für Elektroplanung, wobei die Phasen Vorprojekt und Bauprojekt deutlich unterbewertet sind. Um einem Projekt gerecht zu werden, sind deutlich höhere Arbeitsleistungen in diesen zwei ersten Phasen gefragt. Kunstlicht ist sehr präzise planbar und steuerbar. Gleichmässigkeit, Schattigkeit, Modulation, Formfaktor, Gestaltgesetze, Qualität und Entblendung von Beleuchtungskörpern können genauestens eingesetzt und berechnet werden.

## 7.2 Beispiel einer Optimierung

Das Objekt ist ein Industriebau, der durch die Materialisierung und die Raumhöhe (4,25 m) den Charakter verstärken soll. Der rohe Beton soll belassen und eine innere Wand dunkelrot gestrichen werden. Der Sonnenschutz ist normal und die Fenster raumhoch.

Das Gebäude als Ganzes (wir betrachten lediglich einen Büroausschnitt exemplarisch) soll nach Minergie-P-Kriterien ausgeführt werden. Installationen sind trotzdem einfach zu halten, die Beleuchtungsstärken sind nach Norm zu planen, Leuchten wenn möglich mit Minergie-Label, indirektstrahlende Leuchten zur Akzentuierung der bereits hohen Räume, verwenden. Die Lichtverteilung im Raum kann mittels einem Beleuchtungsberechnungsprogramm berechnet und quantifiziert werden.

Eine erste Beurteilung der Bürozone ist ernüchternd und die Grenzwerte können knapp eingehalten werden. Potenzial ist vorhanden, aber wer macht den ersten Schritt? Der Architekt, der das Tageslicht- und Farbkonzept erstellt hat? Der Elektroplaner, der aus Kostengründen weder Be-

wegungsmelder noch Tageslichtsensor einplant? Der Lichtplaner, der ein einfacheres Konzept mit höherer Effizienz anstreben sollte? Selbstverständlich braucht es vereinte Kräfte und keinen falschen Stolz, um zum Ziel zu gelangen.

### Wie weiter?

Es ist ersichtlich, dass der Grenzwert knapp eingehalten werden kann. Es sind nun Optimierungsmassnahmen notwendig. Wichtig dabei ist, dass alle offen sind, auch die Bauherrschaft. Nicht alleine der Fachplaner, der den Nachweis führt, ist dabei verantwortlich, sondern alle am Prozess Beteiligten. Aufgrund der Auswertung des Nachweises kann bereits sehr direkt definiert werden, in welche Richtung und mit welchem Potenzial korrigiert werden kann. Ein Gespräch mit dem Elektroplaner und der Bauherrschaft (Mehrkosten) lässt den Einsatz von Tageslichtsensoren und Präsenzmeldern zu. Das ergibt ein Bild der Situation aufgrund der Reduktion der Volllaststunden.

Weitere Gespräche folgen. Der Architekt ist bereit, die Decke weiss zu streichen an-

Abbildung 128:  
Grundriss des  
Bürraumes mit  
Kommunikations-  
zone

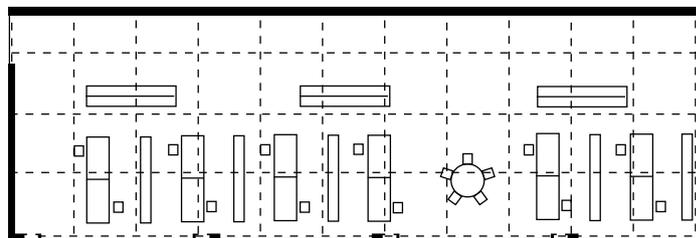


Abbildung 129:  
Anordnung der Be-  
leuchtungskörper  
(Achtung Zone für  
Reflexblendung im  
Bereich der «Über-  
kopf-Beleuch-  
tung»!)

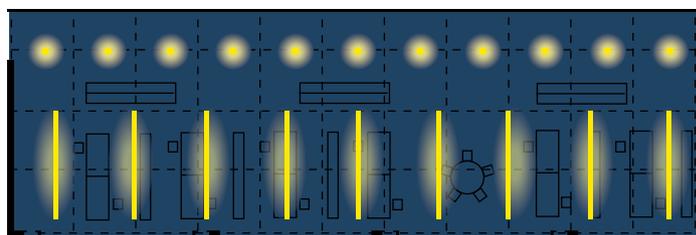
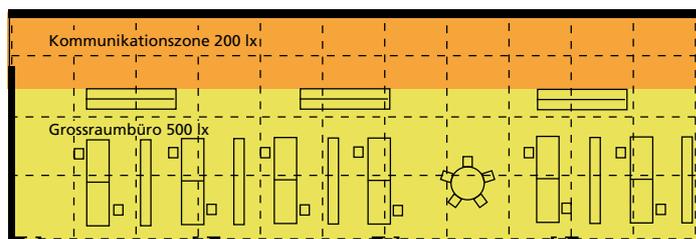


Abbildung 130:  
Zuordnung der Zo-  
nen gemäss SIA  
2024 (42 Standard-  
nutzungen)



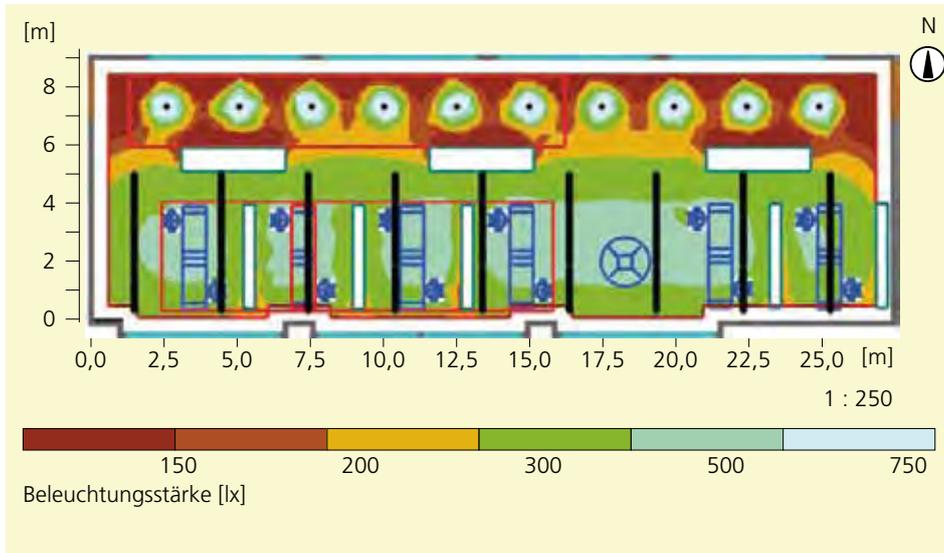


Abbildung 131:  
Falschfarbendarstellung der Beleuchtungsberechnung mit Beleuchtungsstärkeeskala

Abbildung 132:  
Pendelleuchte (links) und Strahler für Kommunikationszone (rechts); Leuchten mit Minergie-Label können direkt auf toplicht.ch herunter geladen werden

MINERGIE® Leuchte  
Reg.-Nr. Zu-00 9-d  
Reg.-Datum 11.07.2008

**Claris 2 Pendelleuchte 2x49W MC ID dimmbar**

Pendelleuchte Direktindirekt m I Comfort-Raster 2 x 9W, für T16, Tochterleuchte für DALI-Ansteuerung mit digital dimmbarem elektronischem Vorschaltgerät, Gehäuse aus kantigem abgestuften Aluminium-Strangpressprofil, Abmessungen 150mm x 150mm x 50mm, Profilleuchtehöhe 3 mm, Uniaxialer symmetrischer Rahmen-Breite 60mm, auf Gehängung geschliffen, 11mm pulverbeschichtet, Lichterzeugung mit Zeilerastrahl-Technologie, einzelne Rastermodule aus hochwertigem Verbundwerkstoff gleichmäßig vakuumbedampft mit Reinstrahlminimum, m I Schutzschicht aus S.Oz. Indirektleuchte Abschlusshalterung 6 (Ø 36) mit beidseitig ger. bzw. bei Lichtverteilung, Bleidrehen in abgestufter Gehäuseform LxBxH 100 x 70 x 32, Gewicht: 7 kg www.zumtobel.ch/215882

Leuchtenkategorie	Pendelleuchte
Lampenkategorie	Leuchtstoffröhren
Artikelnummer	215882
Elektronisches Vorschaltgerät	EVG 0,66 W / Triac/0,66 W all
Verwendete Messlampe	T16/ 9
Anzahl Lampen pro Leuchte	2
Gemessene Leistung	110 W
Gesamtlichtstrom 25° (Lumen)	8600
Standby-Leistung	0,5 W
Integrierte Lichtregelung	Dimmung
Leuchtenbeleuchtungswirkungsgrad	89 %
Anteil Direktlicht	37 %
Abstrahlung	direkt-indirekt strahlend
Blendklasse UGR im Standardraum	<16 (e16) (Blickpunkt)
Max. Leuchtstärke über 65°	max. 978 cd/m <sup>2</sup>
Leuchten schaltbar bei (Anwendung)	89 lm/W (85 lm/W)
Original- oder abgeleitete Messung	Abgeleitet
Messdatum, Messorten zur EULUMDAT-Daten	DZ 728UA lit
Messort	METAS, Bern-Webern

**Parscan Strahler**  
für Halogen Metallhalogenlampen

**72136 0000** (W 8' RA136000)  
HIT CE 0101 (12 33000)  
EVG  
Spotreflektor

**Produktbeschreibung**  
Gehäuse: Zylinder aus Aluminium in einem pulverbeschichteten zum Lampeneinsatz durchgehenden Ø 50° schwenkbar. Gehäuse und Leuchte sind durchgehend aus Aluminium gefertigt. Die Leuchte ist durch einen Phasen-Adapter 300° drehbar. Eine Schraube zum Fixieren an der Decke und eine Leuchtehalterung sind integriert. Die Leuchtehalterung ist einstellbar. ERGO 3 Phasen Adapter Kurzt geschliffen.  
Schutzglas: Bredel Schutzglas Aluminium, grau, schwarz pulverbeschichtet, ohne Aufkleber für Zubehör.  
Spotreflektor: Aluminium, schwarz, matt, hochglanzlackiert, Gewicht: 300g

Hm)	ES4)	Dm)
1	33270	0 16
2	6318	0 31
3	3667	0 47
4	2279	0 62
5	1331	0 79

Montage:  
ERGO 3 Phasen Spotreflektor  
H 100 x 3 Phasen Spotreflektor  
Montage 3 Phasen Spotreflektor  
1 Phasen Potreflektor

<b>Grenzwert</b>	25,7 kWh/m <sup>2</sup>	
<b>Minergie-Wert</b>	14,0 kWh/m <sup>2</sup>	
<b>Projektwert</b>	26,3 kWh/m <sup>2</sup>	
	Büro	Kommunikation
<b>Beleuchtungsstärke</b>	460/530 lx	290 lx
<b>Leuchte</b>	2/49 W (106 W)	Erco Parscan 1/35 W (45 W)
<b>Präsenzerfassung</b>	nein	nein
<b>Tageslichtregulierung</b>	nein	nein
<b>Raumreflexionen</b>	dunkel	dunkel
<b>Storessystem</b>	Stoffstoren	-

**SIA-380/4-Tool Beleuchtung**

Objekt		Zusammenfassung				
Projekt	Waha AG Industriestrasse 9 8050 Zürich	Flächen				
Projekt-Typ	Neubau	Nettofläche	Vorprojekt 255 m <sup>2</sup>			
Projekt stand	Projekt	Energiebezugsfläche (EBF)	280 m <sup>2</sup>			
Bauherr	Waha AG	Faktor Nettofläche zu EBF	0,91			
Architekt	Mar in Mustermeyer arch ek en Zürich	<b>Systemanforderungen</b>				
Elektroplanung	Amstein Waha AG Zürich	Vorprojekt	Projektwert	Grenzwert	MINERGIE	Zielwert
Beleuchtungsplanung	Amstein Waha AG Zürich	kWh/m <sup>2</sup>				
Ersteler Nachweis	Amstein Waha AG Zürich	MWh/m <sup>2</sup>	26,3	25,7	14,0	10,1
Datum	09.11.2008	MWh	88,0	8,1	5,8	33,0
		MWh	6,7	6,5	3,6	2,6
		MINERGIE ECO Vorprojekt: P objekt: 5 %				
		MINERGIE grün = erfüllt rot = nicht erfüllt				
		<b>Definition MINERGIE Beleuchtung</b>				
		Grenzwert ← 3/ MINERGIE ↑ 1/ → Zielwert				

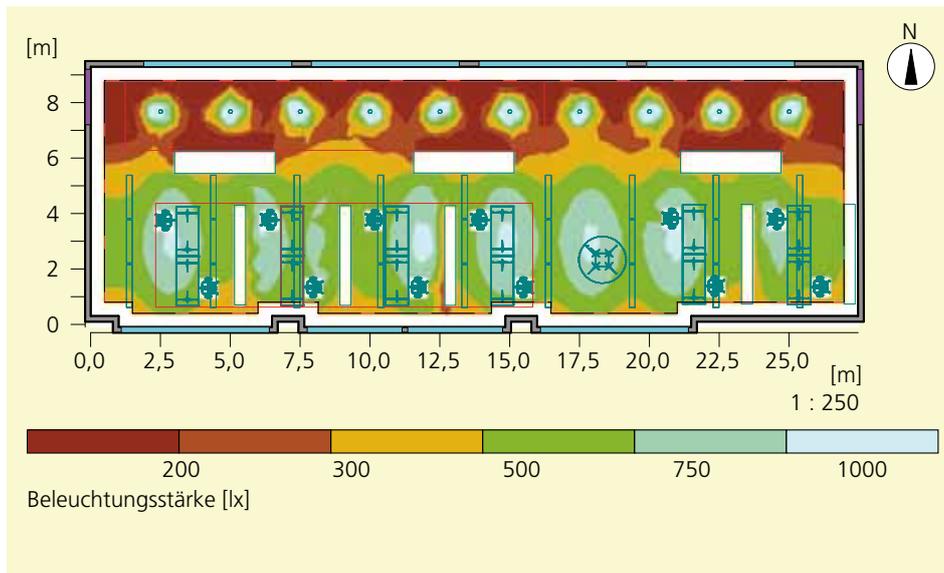


Abbildung 134: Die neu berechnete Lichtverteilung zeigt trotz geringerer Leistung höhere Beleuchtungsstärken an den Arbeitsplätzen.

**Arano**

TP5642 ZxTL5-35W/BA8 HFO CB-VW SMS ALU  
 - abgedunkelt mit 0,35 C.R.I. abgedunkelt (s. alle Daten)  
 - Rundschirm aus Metall (RAL 9005) - mit 441 LEDs  
 - tageslichtähnliches Licht (CRI > 90) - 5000K  
 - mit 1 Doppel-Schaltleitung und Anschlusskabel

Phosphorleuchtende LED-Chips abgedunkelt mit 30°-Strahlwinkel aus 40°-Strahlwinkel. Reinstromversorgung, Rundschirm aus Metall (RAL 9005) nach DIN EN 12464-1 (L < 200° oder bei 60°)

alle opt. Infos vgl. auch mit Datenblatt und Anschlusskabel in Metallgehäuse

Schutzklasse I, Schutzart I 20, ENEC 05, -Zeichen, CE-Zeichen

**Technische Daten**

Beleuchtung 2 x 5-35W  
 Größe bei 180° 840  
 Höhe 6600 mm  
 Umriss-Höhe 700 mm  
 Bei 45° Winkel 100 mm  
 Anschlusskabel 77 0 W  
 Verschlussart H, ab 10 mm  
 Maße (L x B x H) 1552 x 206 x 45 mm  
 Gewicht 5,5 kg

**Lichtstärkeverteilung**

**Blendungsbegrenzung**

Philips

**MINERGIE® Leuchte**  
 Reg.-Nr. Zu-00 9 d  
 Reg.-Datum 11.07.2008

**ZUMTOBEL**

**Claris 2 Pendelleuchte Zx49W MC ID dimmbar**

Pendelleuchte Direktindirekt mit 1 Comfort Raster 2 x 9W, für T16, Tochterleuchte für DALI-Ansteuerung mit digital dimmbarem elektronischem Vorschaltgerät, Gehäuse aus kantigem abgedunkeltem Aluminium-Strangpressprofil, Abmessungen 1500mm x 1500mm x 30mm, Profile kerblos 3 mm, Umlaufender symmetrischer Rahmen bei 90° 0mm, auf Gehung geschliffen, Titan pulverbeschichtet, Lichterzeugung mit Ziel erweiterter Technologie, einzelne Rastermodule aus hochwertigem Verbundwerkstoff gleichmäßig rekumbentbedeckt mit Reflexaluminium, mit Schutzschicht aus SiO<sub>2</sub> Indirektleuchte Abstrahlcharakteristik (8°/36°) mit ballingformiger, breiter Lichtverteilung, Baldachin in abgestufter Gehäuseform LxBxH 100 x 70 x 32, Gewicht: 7 kg www.zumtobel.ch/ 215882

**Leuchterkategorie** Pendelleuchte  
**Lampenabgänger** Leuchtleistungsformen  
**Antriebsnummer** 215882  
**Einzelwertiges Vorschaltgerät** EVIS-9000 al Tridonic one\_all  
**Verwendete Messlampe** T16/ 9  
**Anzahl Lampen pro Leuchte** 2  
**Gesamte Leistung** 110 W  
**Gesamtlichtstrom 25° (Lumen)** 8600  
**Standby-Leistung** 0,5 W  
**Integrierte Lichtregelung** Dimmung  
**Leuchtleistungsbewertungsgrad** 89 %  
**Anteil Direktlicht** 37 %  
**Abstrahlung** direkt/indirekt strahlend  
**Blendklasse UGR im S. andrundraum** <16 (<16 (längs/quadr.)  
**Max. Leuchtdichte über 60°** max. 978 cd/m<sup>2</sup>  
**Leuchtdichtebewertung (A1e-Ordnerung)** 69 lm/W (65 lm/W)  
**Original oder abgeleitete Messung** Abgeleitet  
**Messdatum, Messungen eur** 02.7.2004, 18  
**EULUMDAT-Datei** METAS, Bern/Wabern  
**Messlabor** METAS, Bern/Wabern

Abbildung 135: Die Leuchte auf der linken Seite ist für den vorliegenden Fall dank anderer Lichtverteilung besser geeignet als die Leuchte mit Minergie-Modul-Auszeichnung (rechts). Selbstverständlich könnte auch die Leuchte links nach Minergie zertifiziert werden.

Abbildung 136: Der Projektwert ist bedeutend besser geworden. Immer noch ungenügend, aber auf gutem Wege.

<b>Grenzwert</b>	25,7 kWh/m <sup>2</sup>	
<b>Minergie-Wert</b>	14,0 kWh/m <sup>2</sup>	
<b>Projektwert</b>	15,5 kWh/m <sup>2</sup>	
	Büro	Kommunikation
<b>Beleuchtungsstärke</b>	460/530 lx	290 lx
<b>Leuchte</b>	2/49 W (106 W)	Erco Parscan 1/35 W (45 W)
<b>Präsenzerfassung</b>	ja	nein
<b>Tageslichtregulierung</b>	ja	nein
<b>Raumreflexionen</b>	dunkel	dunkel
<b>Storessystem</b>	Stoffstoren	-

**SIA-380/4-Tool Beleuchtung**

**Objekt**

Projekt: Waha AG  
 Industriemasse 9  
 8050 Zürich

Projekt-Typ: **Neubau**

Projekts and: **Projekt**

Bauherr: Waha AG

Architekt: Martin Mustermeier architekten Zürich

Elektroplanung: Anis em Walthert AG Zürich

Beleuchtungsplanung: Anis em Walthert AG Zürich

Ersteller Nachweis: Anis em Walthert AG Zürich

Datum: 09.11.2008

**Zusammenfassung**

**Flächen**

	Vorprojekt	Projekt
Nettofläche		255 m <sup>2</sup>
nergebezugfläche (EBF)		280 m <sup>2</sup>
aktor Netto fläche zu EBF		0,91

**Systemanforderungen**

Vorprojekt	Projektwert	Grenzwert	MINERGIE	Zielwert
kWh/m <sup>2</sup>				
MJ/m <sup>2</sup>				
MWh	14,6	25,7	14,0	10,1
kWh/m <sup>2</sup>	50,8	8,1	5,8	33,0
MWh	0	6,5	3,6	2,6

MINERGIE ECO Vorprojekt:  Projekt:  **5 %**

MINERGIE **grün = erfüllt** **rot = es gibt erfüllt**

**Definition MINERGIE Beleuchtung**

Grenzwert ← 3/ MINERGIE 1/ → Zielwert

stelle sie roh zu belassen. Damit steigt die Deckenreflexion von 30 % bis 40 % auf über 80 %.

Der Lichtplaner hat das Problem, dass die eingesetzte Leuchte bereits eine nach Minergie zertifizierte Leuchte ist. Was also kann da noch verbessert werden?

Es zeigt sich, dass bei der Raumhöhe durch den zurückgelegten Weg indirekt viel Licht verloren geht. Der Direktanteil der Lichtverteilung könnte verbessert und der Indirektanteil lediglich zur Deckenaufhellung benutzt werden. Diese Strategie funktioniert immer wieder. Das Licht muss zur Sehaufgabe gebracht werden. Gesucht ist eine Leuchte, die für diesen Zweck eine bessere Lichtverteilung ermöglicht.

Statt einem Indirektanteil von 70 % sollte die gesuchte Leuchte den Hauptteil des Lichtstromes nach unten abgeben. Das verkürzt den Lichtweg direkt und je nach dem kann dabei auch die Leistung der Beleuchtung reduziert werden.

**Weitere Beispiele**

Untersuchungen in Spitälern haben gezeigt, dass die Energie für Beleuchtung hauptsächlich in der Verkehrsfläche gebraucht wird. Das hat damit zu tun, dass meistens Leuchtstofflampen oder Kompaktleuchtstofflampen in Gebrauch sind, die zwar schalt- und dimmbar sind, aber aus Rücksicht auf ihre Lebensdauer nach dem Einschalten mindestens 20 bis 30 Minuten in Betrieb sind. Zudem sind vielfach auch die Präsenzmelder nicht in der Lage, präzise zu detektieren. Bewegungsmelder sind teuer und das führt dazu, dass man so

*Abbildung 137: Nun wird die Anforderung erfüllt bzw. sogar übertroffen. Es könnte zusätzlich gedimmt und damit weitere Einsparungen gemacht werden.*

*Abbildung 138: Das ursprüngliche Konzept*



*Abbildung 139: Das optimierte Konzept*



<b>Grenzwert</b>	25,7 kWh/m <sup>2</sup>	
<b>Minergie-Wert</b>	14,0 kWh/m <sup>2</sup>	
<b>Projektwert</b>	9,4 kWh/m <sup>2</sup>	
	Büro	Kommunikation
<b>Beleuchtungsstärke Leuchte</b>	710/620 lx	290 lx
	2/35 W (75 W)	Erco Parscan 1/35 W (45 W)
<b>Präsenzerfassung</b>	ja	nein
<b>Tageslichtregulierung</b>	ja	nein
<b>Raumreflexionen</b>	normal	dunkel
<b>Storesystem</b>	Stoffstoren	–

**SIA-380/4-Tool Beleuchtung**

<b>Objekt</b>		<b>Zusammenfassung</b>	
Projekt	Waha AG Industriezone 9 8050 Zürich	<b>Flächen</b>	Vorprojekt Projekt
Projekt-Typ	Neubau	Nettfläche	255 m <sup>2</sup>
Projektstand	Projekt	Energiebezugsfäche (EBF)	280 m <sup>2</sup>
Bauherr	Waha AG	Faktor Nettfläche zu EBF	0,91
Architekt	Martin Madermeyer architekten Zürich	<b>Systemanforderungen</b>	
Elektroplanung	Arns ein Wallwert AG Zürich	Vorprojekt	Projektwert Grenzwert MINERGIE Zielwert
Beleuchtungsplanung	Arns ein Wallwert AG Zürich	kWh/m <sup>2</sup>	
Ersteller Nachweis	Arns ein Wallwert AG Zürich	MJ/m <sup>2</sup>	
Datum	09-11-2008	Projekt	
		MINERGIE ECO	
		MINERGIE	grün = erfüllt rot = nicht erfüllt
		<b>Definition MINERGIE Beleuchtung</b>	
		Grenzwert ← 3/ → Zielwert	
		MINERGIE ↑ ↓	

wenige wie möglich einsetzt. Dasselbe Bild zeigt sich auch bei Büro- und Verwaltungsgebäuden.

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich beispielsweise in Kommunikationszonen (Korridor) gut und gerne 90 % der Energie eingespart werden könnte, wenn Schaltungen sofort und nicht zeitverzögert aufgrund einer Lebensdaueroptimierung erfolgte. LED-Leuchtmittel sind beispielsweise dafür geeignet. Die Hürde liegt wohl noch in den Preisen von Steuerungen und schnellen Sensoren. Ein einfaches Konzept würde darin liegen, dass jede Leuchte so intelligent wäre, selbst zu detektieren, ob sich ein menschliches Wesen in der Nähe befindet oder nicht. Diese Intelligenz könnte so weit gehen, dass sich Leuchten zu Gruppen zusammen schliessen, um eine Gruppierung von Leuten zu beleuchten. Sobald sich Einzelne oder die Gruppe bewegt, reagieren die Sensoren. Damit würde das Licht dem Menschen folgen und nur da wirksam sein, wo sich jemand aufhält oder bewegt. Zumindest für den Korridorbereich eine wichtige Voraussetzung.

Da jede Nutzung einen anderen Fokus bzw. eine andere Sehaufgabe hat, muss man Fallunterscheidungen vornehmen. Dabei bleiben Anforderungen an den Raum häufig dieselben, wenn auch verschieden ausformuliert. So ist das Bedürfnis nach Übersicht und nach Klärung der Raumbegrenzungsflächen häufig gegeben.

Das Human-Sensitiv-Lighting-Konzept ist noch visionär, wird aber zunehmend realistischer in der Umsetzung. Im Wesentlichen

geht es darum, dass wir heute die richtigen Lichtquellen zur Verfügung haben, dass aber Steuerungselemente noch nicht diesen technischen Stand aufweisen. Vorbehalte gegenüber Vernetzung tun ihr Übriges dazu.



*Abbildung 140: Konventionell beleuchteter Korridor (oben) und Umsetzung des Human-Sensitiv-Lighting-Konzepts (unten).*

### 7.3 Nutzung von Tageslicht und Lichtregelung

Tageslicht ist wieder «in». Im Zuge von Energieoptimierungen, anhand der Norm SIA 380/4 und in der Umsetzung von Minergie-Eco ist die Nutzung von Tageslicht wieder populärer geworden. Lange Jahre wurde, auch aufgrund tiefer Energiepreise, die künstliche Welt des Innenraumes zur technischen Perfektion entwickelt. Lediglich Normen und Gesetze haben diese perfekte Welt mit minimaler Fenstergrösse und vorgeschriebenem Aussenbezug als minimale Hygieneanforderung durchkreuzt.

Und wie sieht es heute aus? Zumindest aus Sicht der Lichtplanung viel erfreulicher. Auch wenn immer noch Sätze wie «genügend Tageslicht» in Wettbewerbsausschreibungen auftauchen, so ist doch die Erkenntnis, dass Tageslicht wertvoll ist, allseits anerkannt.

Aussenbezüge und Tageslichereinfluss ebenso wie der Begriff der Tageslichtautonomie erleben eine Renaissance. Der Umgang zeigt sich in neuen Verglasungsarten mit erhöhter Selektivität, entwickelt an der Uni Basel. Neue Sonnenschutzsysteme wie auch Blendschutzsysteme oder gar kombinierte Systeme geben dem natürlichen Licht die ihm zukommende Bedeutung und regulieren es dermassen gut, dass echte Mehrleistungen entstehen.

Das Nivellieren eines Lichtniveaus macht aus energetischer Sicht natürlich Sinn. Und bei zunehmenden Gebäudetiefen wird die Beleuchtung im Innern notwendig zur Lösung einer Sehaufgabe. Um die Tageslichtautonomie aufgrund des Tageslichtquotientenverlaufes zu bestimmen, sind Messungen und Nutzungsprofile unabdinglich. Aber es gibt auch einfache grafische Schätzmethode, die gerade im Entwurfsprozess nützlich sind. Der Sonnenverlauf muss für jeden Standort bestimmt werden. So entstehen ortsspezifische Sonnenstandsdiagramme.

Mithilfe der grafischen Schätzmethode in Abbildung 147 bis Abbildung 152 kann eine erste Aussage über den Tageslichereinfluss gemacht werden. Wenn Innenräume

Abbildung 141: Verteilung der Energie, die nur für Beleuchtungszwecke genutzt wird, am Beispiel des Stadtspitals Triemli.

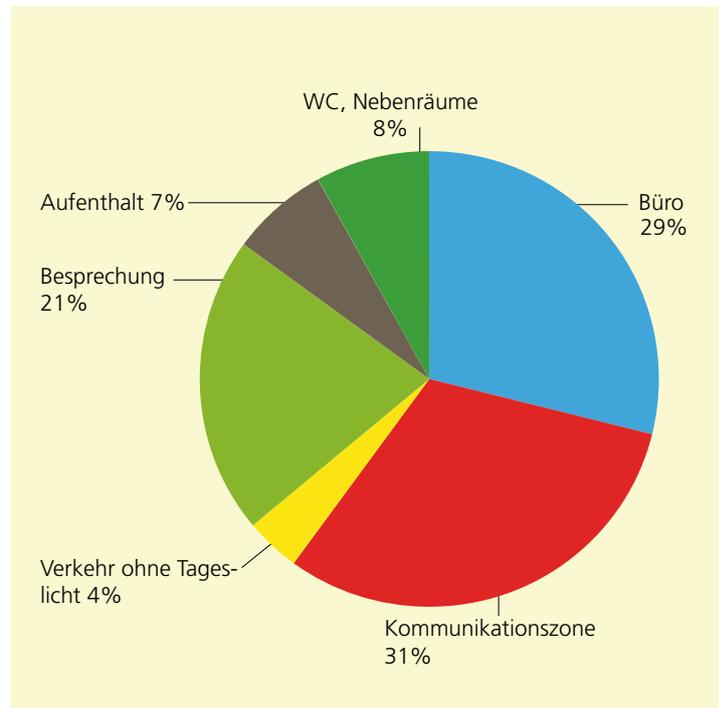
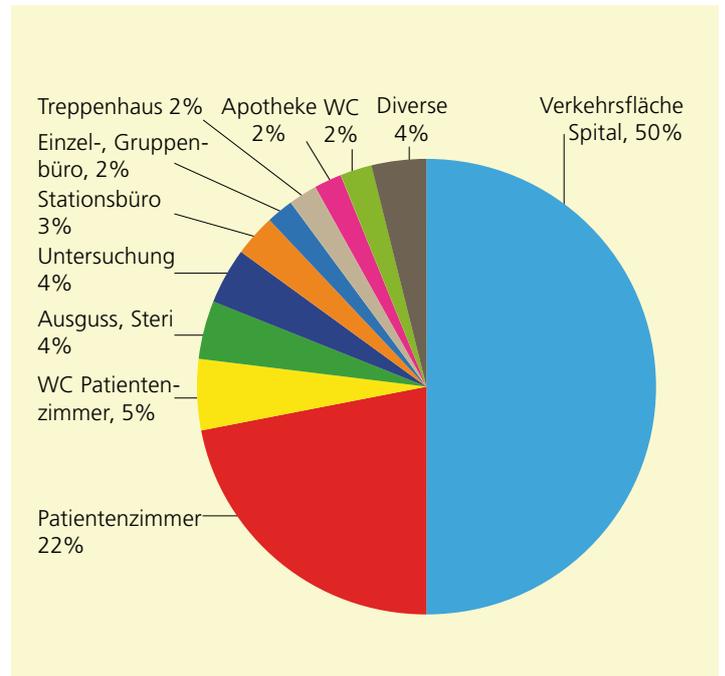


Abbildung 142: Energiebezug für Beleuchtung in einem Büro- oder Verwaltungsgebäude (Beispiel)

durch andere Gebäude verschattet werden (Innenstädte, verdichtetes Bauen), kann die Position festgelegt werden, bei der der Himmel auf Tischhöhe gerade noch sichtbar ist. Dieser Punkt wird als Position of No-skyline festgelegt. Davor (gegen das Fenster) ist genügend Tageslicht vorhanden. Dahinter für übliche Arbeitsanforderungen zu wenig Tageslicht. Um abzubilden, wie weit Tageslicht in die Raum-

tiefe dringt, wird die 30°-Regel angewendet. Dabei wird schnell klar, dass die Brüstungshöhe praktisch keine Rolle spielt. Dafür bilden die Ausbildung des Sturzes bzw. auch mögliche Auskragungen die Grenze für die Tageslichtnutzung (Abbildung 148). Daraus folgt die Faustregel, dass die Tageslichttiefe rund der zweifachen lichten Höhe von Boden zu Sturz entspricht.



Abbildung 143:  
Farbaspekte eines  
Tageslichtablaufes

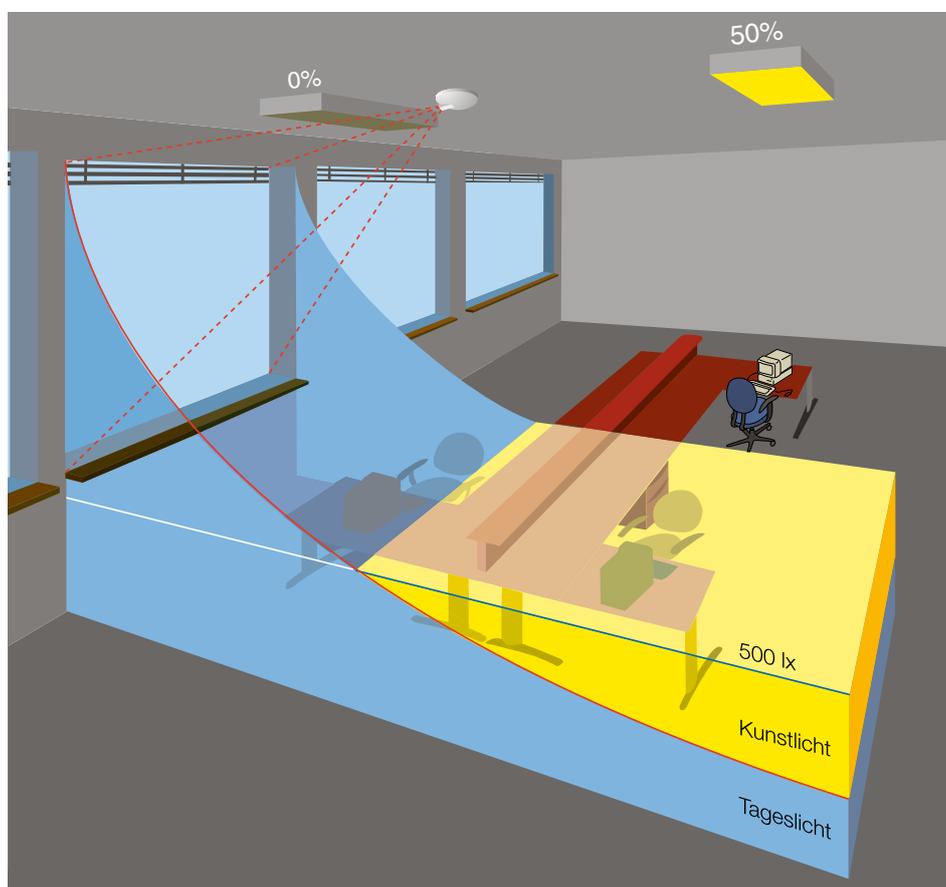


Abbildung 144:  
Schematische Darstellung einer  
Konstantlichtregelung

**Definition der ausreichenden Helligkeit nach DIN 5034-1 für seitliche Öffnungen**

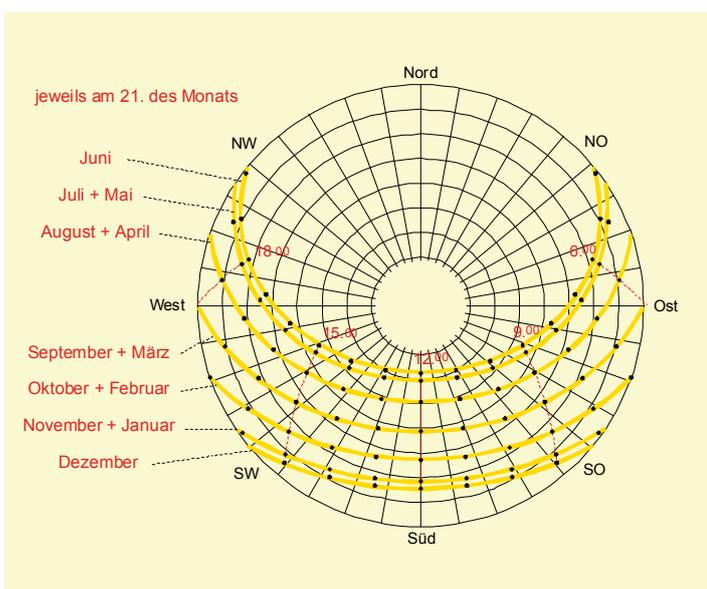
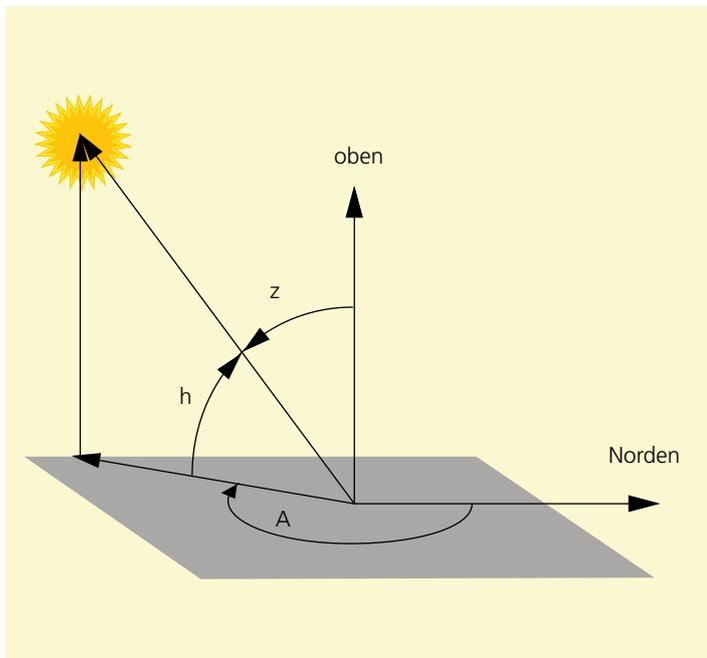
Der Tageslichtquotient (D) soll in halber Raumtiefe, in 0,85 m über dem Fussboden und in 1 m Abstand von den beiden Seitenwänden betragen:

- im Mittel der beiden Punkte mindestens 0,9 %, an einem der beiden Punkte mindestens 0,75 %.

- bei Räumen mit Fenstern in zwei benachbarten Wänden 1,0 %. Möglichst hohe Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen.

Abbildung 145: Sonnengeometrie mit Sonnenhöhe  $h$  und Azimuth  $A$  (Nordabweichung)

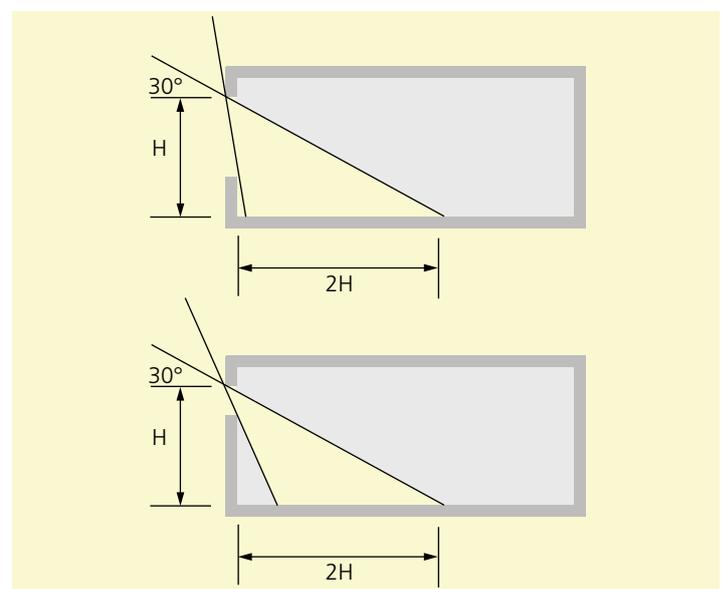
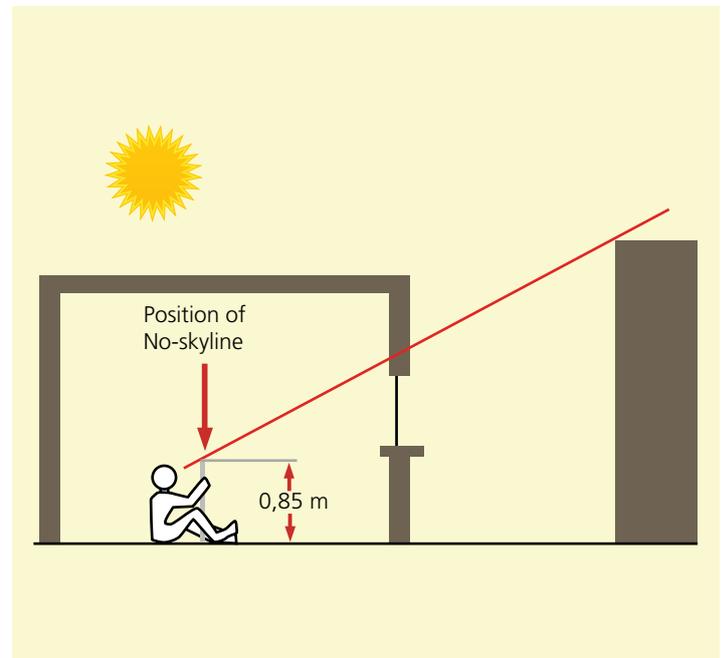
Abbildung 146: Polares Sonnenstandsdiagramm für die geografische Breite von  $51^\circ N$  (Köln, Erfurt, Dresden)

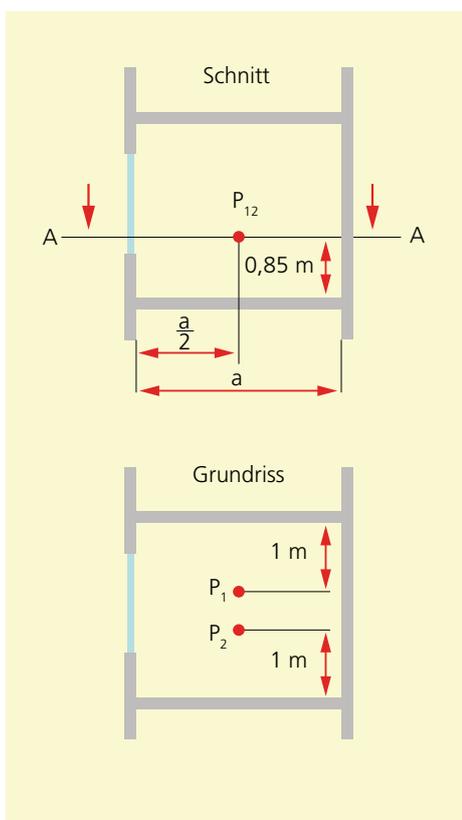


Das ähnliche Prinzip kann für Oblichtsituationen angewandt werden, wobei der  $30^\circ$ -Winkel nicht zur horizontalen, sondern zur vertikalen Achse abgetragen wird. Aus der Grundrissdisposition wird ersichtlich, dass Wände den Lichtfluss bremsen bzw. reflektieren. Hellere Wände wirken dabei positiver als dunklere. Grosse Räume ohne Trennwände profitieren vom freien Lichtfluss.

Abbildung 147: No-Sky-Line

Abbildung 148: Die  $30^\circ$ -Regel





**Definition der ausreichenden Helligkeit nach DIN 5034-1 für Oblichter**

- $D_m > 4\%$ ,  $D_{min} > 2\%$ . Berechnung siehe DIN 5034-3, vereinfachte Berechnung siehe DIN 5034-6.
- Möglichst hohe Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen, vor allem von Fussboden und Decke.

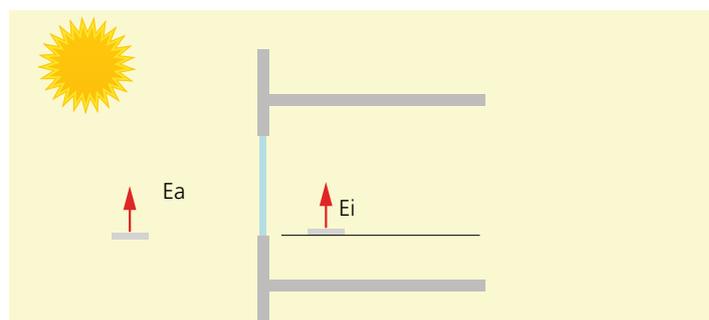
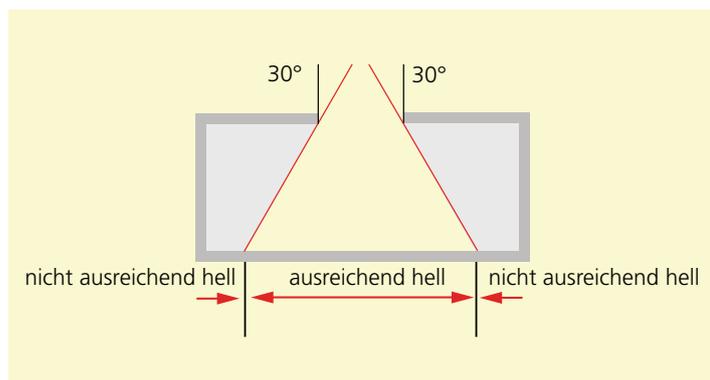
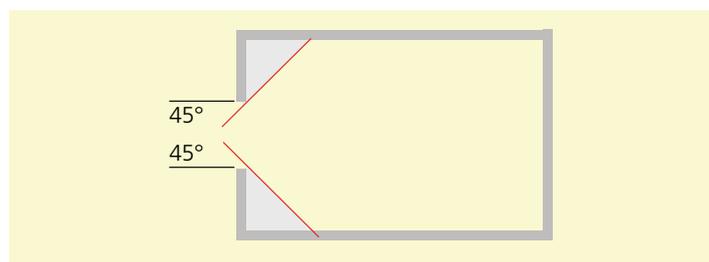
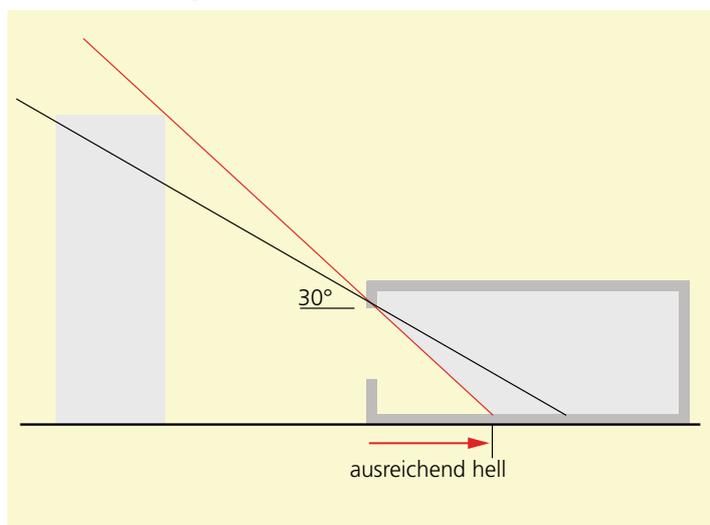
Abbildung 149: Bezugspunkte für die Definition der ausreichenden Helligkeit nach DIN 5034-1 für seitliche Öffnungen

Abbildung 150: Die 30°-Regel muss durch Verbauungen und Verschattungen angepasst werden.

Abbildung 151: Die 30°-Oblicht-Regel

Abbildung 152: Die 45°-Regel im Grundriss

Abbildung 153: Definition des Tageslichtquotienten



Tageslichtquotient D eines Punktes zur Kennzeichnung des Tageslichtanteils in Innenräumen. Definiert als Verhältnis von Innenbeleuchtungsstärke Ei zu Aussenbeleuchtungsstärke Ea.

$$D = E_i/E_a \text{ in } \%$$

D ist unabhängig von Himmelsrichtung, Zeit und geografischem Ort  
D ist eine Funktion der Fenstergrösse, der Fensterlage, des Reflexionsgrades und der Aussenverbauung.

Beispiel:  $D=3\%$  mit  $E_i=300 \text{ lx}$  für  $E_a=10\,000 \text{ lx}$

## 7.4 Betriebsoptimierung in bestehenden Bauten

Für die Erneuerung einer bestehenden Beleuchtung sind fünf Varianten möglich:

1. Ersatz von Leuchtmitteln
2. Umrüsten von bestehenden Leuchten
3. Leuchtenersatz
4. Lichtregelung installieren oder bestehende Lichtregelungen optimieren
5. Planung einer Minergiebeleuchtung

Die Investitionskosten der Massnahmen sind sehr unterschiedlich. Oft ist nicht die günstigste Variante die wirtschaftlichste.

**Beispiel aus einer Detail-Analyse:** In einem Schulzimmer kann durch folgende Massnahmen der Strombedarf auf das Niveau des SIA-Zielwertes gesenkt werden.

- Ineffiziente Leuchten durch effiziente mit einer niedrigeren Lampenleistung und höherem Wirkungsgrad (mindestens 75 %) ersetzen (Massnahme Nr. 12).
- Die manuellen Schaltungen durch Präsenzmelder, kombiniert mit Tageslichtsensoren, ersetzen (Massnahme Nr. 21).
- Als Sonnenschutz aussen liegende, verstellbare und helle Lamellen installieren (Massnahme Nr. 25).

**Gesamtplanung nach Minergie:** Bei einer Gesamtanierung kann meist durch ein neues Beleuchtungskonzept die effizienteste Lichtlösung gefunden werden, insbesondere in Räumen, in denen für Leuchten eine neue Positionierung möglich ist.

### Ersatz von Leuchtmitteln (Retrofit)

Massnahmen 1 bis 5 in Tabelle 47. Eine ineffiziente Lampe (Leuchtmittel) wird 1-zu-1 durch eine effiziente mit gleichem Sockel ersetzt. Bei Lampen mit Sockeltypen gemäss Abbildung 155 ist diese Massnahme möglich.

### Hinweise

■ Für dimmbare Glüh- und Halogenlampen gibt es spezielle Ersatz-Sparlampen; die Qualität dieser dimmbaren Sparlampen mag aber oft nicht zu überzeugen.

■ Dimmbare LED-Lampen sind erhältlich; die Mindestleistung des eingesetzten Dimmers ist zu beachten; diese beträgt in der Regel 25 Watt.

■ Nur Sparlampen mit mindestens 20000 Schaltzyklen und maximal 60 Sekunden Aufstartzeit verwenden. Diese Angaben müssen seit 1. September 2010 auf jeder Lampenverpackung deklariert sein.

■ Nur LED-Lampen mit einem Farbwiedergabeindex ( $R_a$  oder CRI) von mindestens 80 und einer Farbtemperatur von maximal 4000 Kelvin verwenden. Diese Angaben müssen seit 1. September 2010 auf jeder Lampenverpackung deklariert sein.

■ Unbedingt die Abmessungen beachten: einige Sparlampen oder LED-Lampen sind grösser als die zu ersetzenden Glüh- oder Halogenlampen.

### Umrüsten von bestehenden Leuchten

Massnahmen 6 bis 11 in Tabelle 47. Alle Lampen (ausser Glühlampen) benötigen ein Betriebsgerät, welches den 230-Volt-Wechselstrom in eine andere Stromart umwandelt. Diese Geräte sind unterschiedlich bezeichnet: Vorschaltgerät, Betriebsgerät, Transformator, Netzteil, Treiber, Driver. Veraltete oder ungeeignete Betriebsgeräte sind zu ersetzen.

### Leuchtenersatz

Massnahmen 12 bis 16 in Tabelle 47. Wenn die Leuchtmittel wegen ungeeigneten Sockeln oder Betriebsgeräten nicht ersetzt werden können und ein Umbau der bestehenden Leuchten nicht möglich ist, kommt der Ersatz von Leuchten in Frage; oft kann die neue Leuchte am selben Ort platziert werden, so dass ein grösserer Installationsaufwand entfällt.

■ Rein indirekt strahlende Leuchten sind meist sehr ineffizient, weil das Licht über eine mehr oder weniger helle Decke und grössere Distanz reflektiert wird. Eine optimale Beleuchtung ist in den meisten Fällen direkt strahlend, mit einem Indirektanteil zur Raumaufhellung.

■ Überdimensionierte Beleuchtungen sind keine Seltenheit. Weil das menschliche Auge so konstituiert ist, dass es ein riesiges Helligkeitsspektrum (Sonnentag: 100000

Lux, Mondnacht: 1 Lux) verarbeiten kann, auf kleine Helligkeitsunterschiede aber relativ unempfindlich reagiert (600 Lux sind für einen Menschen objektiv nicht von 500 Lux zu unterscheiden), sollten Beleuchtungsanlagen nicht überdimensioniert werden; denn 600 Lux statt 500 Lux bedeuten 20 % mehr Energieverbrauch, ohne dass das in der Regel wahrnehmbar ist.

### Lichtregelungen installieren oder optimieren

Massnahmen 17 bis 25 in Tabelle 47. Lichtregelungen können unter optimalen Bedingungen sehr hohe Einsparungen bringen. In vielen Fällen sind die Rahmenbedingungen aber nicht optimal: Zu wenig nutzbares Tageslicht, falsche Platzierung von Sensoren, keine Einregulierung von Sensoren und schliesslich ein hoher Eigenverbrauch der Regelung. Messungen zeigen, dass einfache Regelungen meist grössere Energieeinsparungen bringen als komplexe Systeme.



Abbildung 154: Eine Funktion, verschiedene Bezeichnungen, z. B. Betriebsgerät

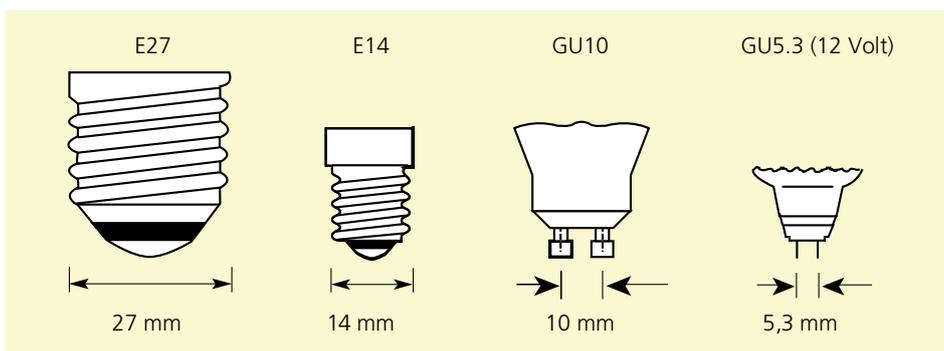


Abbildung 155: Sockeltypen von Retrofitlampen

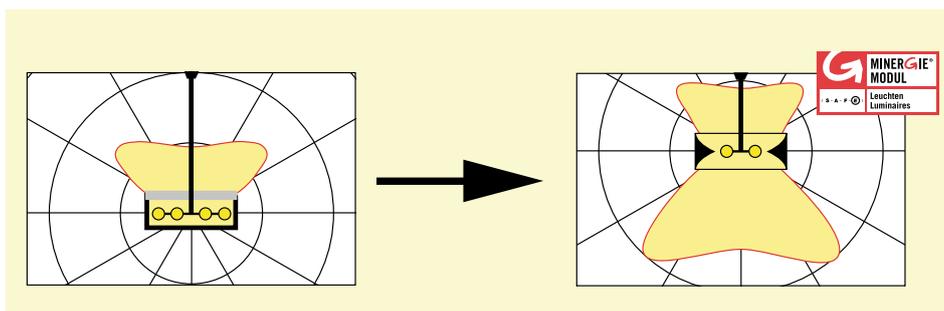


Abbildung 156: Nicht ideale und optimale Lichtverteilung

Nr.	Massnahmen	Nutzen
1	<b>Klassische Glühlampen durch Sparlampen ersetzen.</b> Leistungen von 100 Watt, 75 Watt, 60 Watt, 40 Watt oder 25 Watt werden durch Sparlampen mit ca. 25 % der Glühlampenleistung ersetzt. Gewindetypen: E27 oder E14.	+++
2	<b>Glühlampenspots durch LED-Spots ersetzen.</b> Leistungen von 100 Watt, 75 Watt, 60 Watt, 40 Watt oder 25 Watt werden durch LED-Spots mit ca. 20 % der Glühlampenleistung ersetzt. Gewindetypen: E27 oder E14.	+++
3	<b>Halogenspots durch LED-Spots ersetzen.</b> Interessant vor allem für die weit verbreiteten Spots vom Typ «PAR 50» mit Sockeln GU 5.3, GU10, E27 und E14. 35 Watt Halogen entsprechen 4 Watt LED. Für 50 Watt ist noch kein Ersatz verfügbar.	+++
4	<b>Sparlampen im Aussenraum ersetzen</b> durch spezielle Exterior-Sparlampen oder LED-Lampen. Normale Sparlampen sind für den Aussenraum nicht geeignet.	+
5	<b>Minderwertige Sparlampen ersetzen</b> durch hochwertige und schaltfeste Typen (Schaltzyklen über 100 000 Ein-Aus-Schaltungen)	++
6	<b>KVG durch EVG ersetzen.</b> Bei Leuchten mit Leuchtstofflampen können konventionelle magnetische Vorschaltgeräte (KVG) durch elektronische Vorschaltgeräte (EVG) ersetzt werden.	+
7	<b>38-mm- durch 26-mm-Röhren ersetzen.</b> Leuchtstoffröhren (20 Watt, 40 Watt, 65 Watt, Durchmesser 38 mm) können durch Leuchtstoffröhren (18 Watt, 36 Watt, 58 Watt, Durchmesser 26 mm) ersetzt werden; dadurch wird zusätzlich auch Lichtmenge erhöht, die Farbwiedergabe erhöht und die Lebensdauer der Lampen verlängert. Gleichzeitig wird ein Umbau auf elektronische Vorschaltgeräte empfohlen.	++
8	<b>High Efficiency statt High Output.</b> Bei Leuchtstoffröhren der neusten Generation (Durchmesser 16 mm) können High-Output-Röhren (80 W, 54 W, 39 W) durch High-Efficiency-Röhren (49 W, 35 W, 28 W) ersetzt werden, wenn eine um ca. 30 % zu hohe Beleuchtungsstärke gemessen wird (was nicht selten der Fall ist). In den meisten Fällen muss das Vorschaltgerät ersetzt werden.	++
9	<b>T5-Adapter und Reflektor einbauen.</b> Röhren mit 26 mm Durchmesser und magnetischem Vorschaltgerät können durch Röhren mit 16 mm Durchmesser ersetzt werden. Dieser Durchmesser von 16 mm entspricht 5 Zoll, deshalb die Bezeichnung T5. Die ca. 5 cm kürzeren T5-Röhren werden durch ein Adapterstück ergänzt, in welchem sich ein elektronisches Vorschaltgerät befindet. Zusätzlich sollte ein Reflektor installiert werden, der das Licht nach unten richtet. Diese Massnahme ist nur bei offenen Balkenleuchten und in Räumen mit niedrigen Beleuchtungsansprüchen (z. B. Lager) empfehlenswert.	++
10	<b>Überdimensionierte Downlights umbauen.</b> Häufig sind Downlights in Verkehrsflächen zu hoch bestückt. Eine Beleuchtungsstärke von 100 Lux ist ausreichend. Durch Ersatz des Betriebsgerätes kann das Downlight umgerüstet werden. 1-lampige Downlights sind 2-lampigen vorzuziehen. Für diese Massnahme ist bereits heute LED die wirtschaftlichste Lösung (Massnahme 13).	++
11	<b>Überflüssige Leuchten entfernen.</b> Manche Leuchten brennen ohne Nutzen oder es ist im Raum viel zu hell. Dann sollten einzelne Leuchten ausser Betrieb genommen werden.	+++

*Tabelle 47:  
Effizienzsteigerungen von Beleuchtungen – die Massnahmen*

Nr.	Massnahme	Nutzen
12	Decken- und Wandleuchten 1 zu 1 ersetzen. Eine ineffiziente Leuchte durch eine effiziente mit einer niedrigeren Lampenleistung und höherem Wirkungsgrad (mindestens 75 %) ersetzen.	++
13	Downlights mit LED einbauen. Vor allem in Korridoren sind LED-Leuchten bereits heute die erste Wahl. In vielen Fällen können herkömmliche Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen durch LED-Downlights mit halber Leistung ersetzt werden.	++
14	Lichtbänder mit Leuchtstoffröhren durch LED ersetzen. In der Decke eingelassene Leuchtstoffröhren (ca. 30 W bis 50 W pro Meter) durch LED-Lichtleisten ersetzen (10 W bis 20 W pro Meter)	+++
15	Stehleuchten erneuern. Ältere Stehleuchten mit 4-mal 55 W Kompaktleuchtstofflampen können durch Stehleuchten mit 2-mal 55 W (oder 4-mal 28 W) und ca. 30 % Direktlichtanteil ersetzt werden.	++
16	Tischarbeitsleuchten durch LED ersetzen. Glüh- oder Halogenlampen durch Tischarbeitsleuchten mit LED ersetzen. LED sind für diese Anwendung geeigneter als Sparlampen (ca. 10 W bis 15 W LED pro Arbeitsplatz).	+++
17	<b>Getrennte Leuchtengruppen.</b> Die einfachste Lichtregelung ist die Aufteilung einer Beleuchtungsanlage auf mehrere «Lichtgruppen». Statt einem Schalter sind dann beispielsweise zwei bis vier Schalter installiert.	+
18	<b>Zeitschaltuhren einbauen.</b> Effizient und günstig ist es, mittels Schaltuhr die Beleuchtung über Mittag oder am Abend abzuschalten.	+
19	<b>Minuterie einbauen.</b> In Räumen mit kurzen Aufenthaltszeiten sind Minuterien (automatische Abschaltung nach 5 bis 15 Minuten) empfehlenswert.	+++
20	<b>Bewegungsmelder installieren.</b> In Korridoren, Garderoben, Lagern und ähnlichen Räumen mit längeren Zeiten ohne Personenverkehr sollten Bewegungsmelder eingebaut werden, bei Räumen mit Tageslicht kombiniert mit Helligkeitssensoren. Bevorzugte Schaltung: automatisch Ein und Aus (auto on/off).	+++
21	<b>Präsenzmelder installieren.</b> In Büros, Schulzimmer sollten manuelle Schaltungen durch Präsenzmelder (bei Räumen mit Tageslicht kombiniert mit Helligkeitssensoren) ersetzt werden. Bevorzugte Schaltung: automatisch Aus, manuell Ein. (d. h. das Licht geht nicht automatisch an, sondern muss durch Knopfdruck aktiviert werden.)	++
22	<b>Bestehende Lichtregelung justieren.</b> Das Lichtniveau ist häufig falsch oder nicht eingestellt oder die Verzögerungen dauern zu lange, sodass es zu keiner Abschaltung kommt.	++
23	<b>Vorhandene Lichtsensoren umplatzieren.</b> Aus architektonischen Gründen werden Lichtsensoren häufig falsch positioniert, sodass die gewünschten Schaltungen ausbleiben. Eine Neuplatzierung sollte strikt unter dem Gesichtspunkt der optimalen Tageslicht- respektive Personenerkennung erfolgen.	++
24	<b>Konstantlichtregelungen mit Nachtabschaltung.</b> Der Eigenstromverbrauch von komplexen Regelungsanlagen ist beträchtlich; nur bei automatischer Nachtabschaltung des Standby-Verbrauchs kann eine hohe Gesamteinsparung realisiert werden.	+
25	<b>Sonnenschutz optimieren.</b> Der optimale Sonnenschutz ist aussen liegend, bedarfsgerecht verstellbar (Lamellen) und hell. Eine automatische Steuerung ist noch besser, sofern sie funktioniert. Vor allem innen liegende Markisen oder Vorhänge sind für die Tageslichtnutzung ungeeignet.	+++

## 7.5 Wirtschaftlichkeit

**Mehrere Angebote einholen:** Es ist empfehlenswert, mehrere Unternehmerangebote einzuholen, die Preisunterschiede können enorm sein. Das günstigste Angebot ist aber oft nicht das beste. Zuverlässigkeit, Garantiezeit und Beständigkeit des Lieferanten sollten ebenfalls als Auswahlkriterien dienen. Besondere Vorsicht ist bei den vielen neuen Anbietern von LED-Leuchten angezeigt.

**«Fantasie»-Preise in den Katalogen:** Die Katalogpreise für Lampen, Leuchten und Zubehör sind Preise für Einzelstücke. Bereits bei mittleren Stückzahlen werden Rabatte von 20 % bis 40 % gewährt. Bei grossen Bestellungen bieten die Lieferanten bis zu 70 % Rabatt. Beispiel: eine Grossbank bezahlte für 500 Stehleuchten, die gemäss Katalog über 1300 Fr. kosteten, nur gerade 400 Fr. pro Stück.

**Komplizierte Installationen machen es teuer:** Sobald Elektroinstallationen verändert werden, kann es schnell teuer werden. Eine Lampe oder Leuchte 1 zu 1 zu ersetzen oder eine mobile Leuchte (Steh- oder Tischleuchte) einzusetzen, kann günstiger kommen, selbst wenn das Produkt teurer ist, weil der Installationsauf-

wand entfällt. Bei der Nachrüstung von Lichtsensoren ist es empfehlenswert, diese an Orten bestehender Kabelanschlüsse zu platzieren oder direkt in die Schalterdose einzubauen.

**Unterhaltskosten beachten:** In einer Wirtschaftlichkeitsrechnung müssen unbedingt die Mehr- oder Minderaufwendungen beim Unterhalt berücksichtigt werden. Häufiges Lampenwechseln kostet nicht nur Geld für neue Lampen sondern auch für den Arbeitsaufwand beim Ersatz. Bei LED-Installationen ist dieser Aspekt besonders relevant.

### Beispiel Wirtschaftlichkeitsrechnung

Das Beispiel geht davon aus, dass eine Restaurantbeleuchtung 1 zu 1 ersetzt wird:

- Die bisherige Anlage hat keinen Restwert und soll ohnehin ersetzt werden.
- Es werden Leuchten ersetzt, also an derselben Position installiert, an denen die alten Leuchten waren; es ergeben sich nur minimale Installationskosten.
- Der Vergleich zeigt die Wirtschaftlichkeit zwischen einer neuen konventionellen Lösung und einer LED-Variante mit Energie- und Betriebskosteneinsparungen.

	Konventionelle Beleuchtung	Beleuchtung mit LED
Nutzung	Restaurant	
Fläche	300 m <sup>2</sup>	
Anzahl Spot-Leuchten	100	
Systemleistung der Leuchte	40 W	25 W
Installierte Leistung	4,00 kW	2,50 kW
Installierte Leistung	13,3 W/m <sup>2</sup>	8,3 W/m <sup>2</sup>
Betriebsstunden	3600 h/a	3600 h/a
Energiekennzahl	48,0 kWh/m <sup>2</sup>	30,0 kWh/m <sup>2</sup>
Energieverbrauch	14,4 MWh/a	9,0 MWh/a
Mittlerer Energiepreis	200 Fr./MWh	200 Fr./MWh
<b>Energiekosten in 10 Jahren</b>	<b>28 800 Fr.</b>	<b>18 000 Fr.</b>
Ersatzlampe	40 Fr.	0
Wechselkosten	20 Fr.	0
Anzahl Wechsel in 10 Jahren	7	0
<b>Wartungskosten in 10 Jahren</b>	<b>42 000 Fr.</b>	<b>0</b>
Preis pro Spot-Leuchten inkl. Installation	150.00 Fr.	350.00 Fr.
Installation	50.00 Fr.	50.00 Fr.
<b>Investition</b>	<b>20 000 Fr.</b>	<b>40 000 Fr.</b>
<b>Gesamtkosten in 10 Jahren</b>	<b>90 800 Fr.</b>	<b>58 000 Fr.</b>
<b>Amortisationszeit LED</b>		<b>3,8 Jahre</b>

*Tabelle 48:  
Einfache Wirtschaftlichkeitsrechnung  
für die Beleuchtung  
eines Restaurants*

## 7.6 Sparpotenziale bei der Beleuchtung in Zweckbauten

Der Stromverbrauch der Beleuchtungen in Zweckbauten ist bis heute kontinuierlich leicht gestiegen, wie man aus der Branchenstatistik ableiten kann; im Schnitt jährlich um ca. 0,5 %. Bis dato wurden keine nachweislichen Massnahmen ergriffen, um den Stromverbrauch für Beleuchtung in diesem Sektor zu senken. Mit einer Reihe von Massnahmen wäre dies möglich:

■ **Energieetikette für Leuchten:** Analog der Lampen könnte eine Einteilung nach Effizienzklassen für die Leuchtenlichtausbeute geschaffen werden. Das Modell könnte sich am Bewertungsraster für Minergie-Leuchten richten. Mit einem stufenweisen Out-Phasing von ineffizienten Leuchten könnte die mittlere Leuchtenlichtausbeute von aktuell rund 40 lm/W auf 60 lm/W gesteigert werden.

■ **Optimierung der Planung:** Mit der Norm SIA 380/4 «Elektrische Energie im Hochbau» steht ein Instrument zur Planung von energieeffizienten Beleuchtungsanlagen (und anderen Stromverbrauchern) zur Verfügung. Die Norm müsste schweizweit in den Vollzug gebracht werden. Für eine erfolgreiche Umsetzung ist eine systematische Qualitätssicherung in der Planung und in der Ausführung zwingend. Die bisherigen Erfahrungen mit der

Minergie-Beleuchtung zeigen bei der Umsetzung grosse Mängel.

■ **LED-Technik:** Bis in zehn Jahren dürfte die Entwicklungsphase für LED abgeschlossen sein und LED als Standardtechnologie im Einsatz sein. LED unterstützt die Massnahmen, wenn die Qualitätssicherung gewährleistet ist.

Mit diesen Massnahmen ist im Bereich der Zweckbauten eine Einsparung von rund 3000 GWh pro Jahr technisch problemlos machbar (Abbildung 157). Da die typische Ersatzzeit für Beleuchtungsanlagen bei rund 15 Jahren liegt, benötigt man von der Einführung einer Anforderung bis zur vollständigen Umsetzung der Massnahmen ebenso lange.

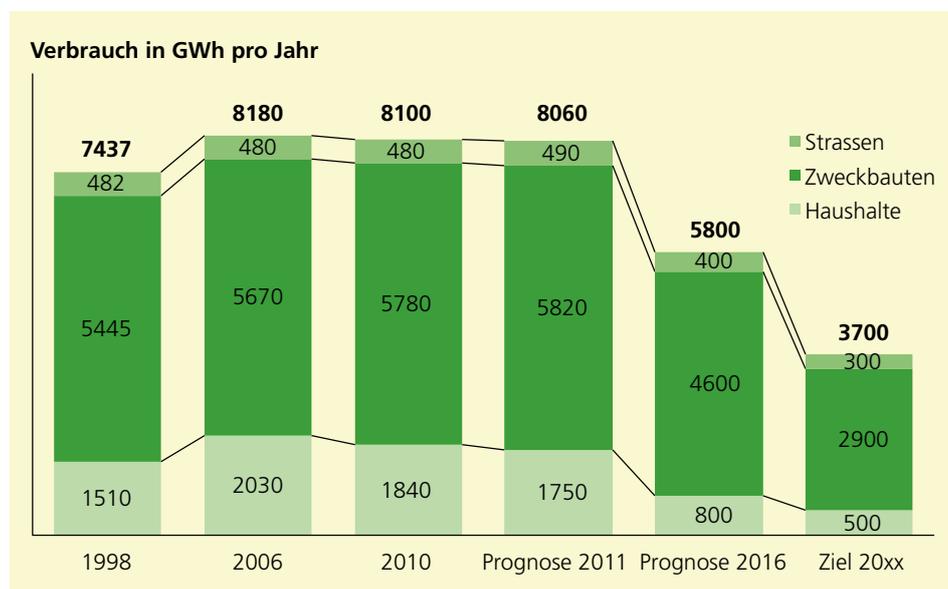


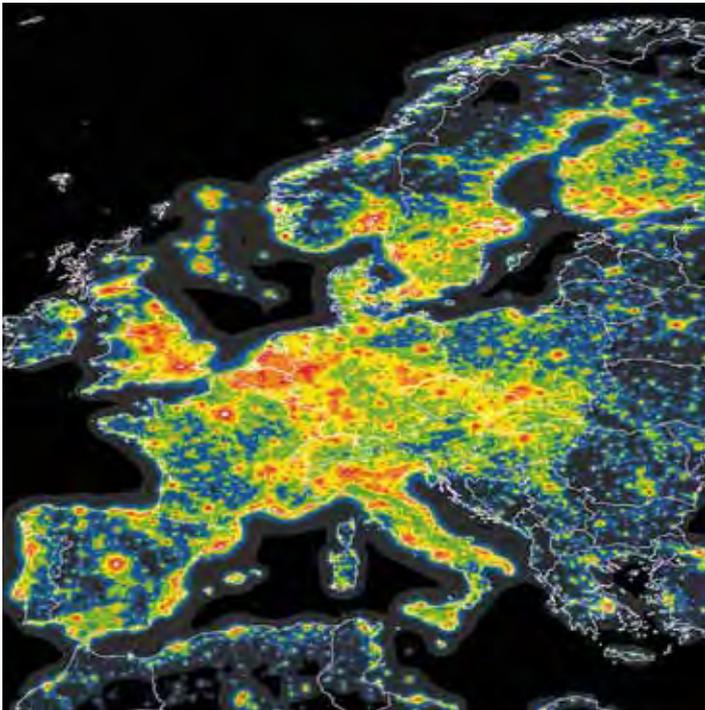
Abbildung 157: Sparpotenzial bei der professionellen Beleuchtung in der Schweiz

## 7.7 Nutzung der Dunkelheit

Grenzbereiche des Lichtspektrums sind problematisch. Zu hohe UV- und IR-Exposition können schaden. Zu hohe Lichtintensitäten (Laser) oder bestimmte Spektren können die Netzhaut schädigen. Insofern kann Licht im falschen Gebrauch durchaus Schaden anrichten. Wie sieht es aber mit der Dunkelheit, der Nacht aus? Wir machen uns die Nacht immer mehr zum Tag, mutieren zur 24-Stunden-Gesellschaft.

*Abbildung 158:  
Lichtverschmutzung  
über Europa*

*Abbildung 159:  
Dunkelheit wird  
zum Luxusgut, auch  
bei uns*



Seit den 50er Jahren wurde der natürliche Schlaf um ca. 2 Stunden reduziert. Wir sind nicht mehr erholt, leben über die Verhältnisse des Körpers, gönnen ihm und auch den Augen und damit dem Hirn immer weniger Erholung bei gleichzeitig vi-

sueller Übersättigung. Es wäre also erstrebenswert, die Nacht wirklich dunkel zu belassen, den Sternenhimmel wieder sichtbar zu machen und dafür den Schlaf zu schützen. Den Himmel nehmen wir nie mehr so wahr, wie das vielleicht noch irgendwo im Zentrum von Australien oder der Sahara möglich ist. Die Umgebungsleuchtdichten sind meist so gross, dass Sterne einfach ausgeblendet werden.

### Lichtverschmutzung

Die Auswirkungen des künstlichen Lichts auf die Umwelt wurden in den letzten Jahren zunehmend thematisiert. Die Problematik basiert darauf, dass Licht im Übermass eingesetzt wird und sich zunehmend störend auf die Umwelt auswirkt. Als Lichtverschmutzung (aus dem englischen Light Pollution) wird die künstliche Aufhellung des Nachthimmels und die störende Auswirkung von Licht auf Mensch und Natur bezeichnet.

Auf Satellitenaufnahmen der Nasa kann man das in den Nachthimmel abgegebene Streulicht gut erkennen. In den grossen Ballungszentren von Europa ist die Lichtverschmutzung stark ausgeprägt, vor allem in Grossbritannien, Deutschland und Italien. Die Schweiz leidet ebenfalls unter Lichtverschmutzung.

Für Aussenbeleuchtungen formuliert die Organisation Dark-Sky Regeln, die im Nebeneffekt helfen, Strom zu sparen:

- **Regel 1:** Fragen Sie sich grundsätzlich bei jeder Beleuchtung im Aussenraum, ob diese tatsächlich notwendig ist.
- **Regel 2:** Beleuchten Sie von oben nach unten. So vermeiden Sie, dass Licht in die Atmosphäre abstrahlt.
- **Regel 3:** Achten Sie darauf, dass die Lampen abgeschirmt sind. Optimal ist es, wenn der Leuchtkörper nicht sichtbar ist.
- **Regel 4:** Wählen Sie die richtige Beleuchtungsstärke. Und achten Sie darauf, dass die Beleuchtungsart der Situation angepasst ist.
- **Regel 5:** Die wenigsten Lampen müssen die ganze Nacht hindurch brennen. Begrenzen Sie die Beleuchtungsdauer zeitlich sinnvoll.

## Kapitel 8

## Praxisbeispiele

### 8.1 Schulhaus Leutschenbach

#### Zürichs leuchtende Lernwerkstatt

Das Schulhaus Leutschenbach ist spektakulär: Innerhalb einer ringsum verglasten, turmartigen Stahlkonstruktion sind die Räume übereinander geschichtet. Korridore, wie man sie aus traditionellen Schulen kennt, gibt es nicht mehr. Die Schule versteht sich als Werkstatt und Labor.

Die Wahrnehmung der Umgebung ist durch die vollflächige Verglasung bis in den Kern des Gebäudes erlebbar. Die Innenwände bestehen aus geformtem Profilitglas. Die davon umschlossenen Räume variieren in Grösse, Ausdehnung und Höhe und sind unterschiedliche Ausbildungen des gleichen architektonisch räumlichen Gesamtkonzepts. Die schimmernden, lichtdurchlässigen Wände tren-

nen die Räume akustisch, ermöglichen zugleich jedoch subtile optische Verbindungen: Tageslicht gelangt bis tief ins Innere des Gebäudes und auch die Bewegungen der Schüler zeichnen sich scheinhaft durch das Glas ab.

Die übererdigen Geschosse sind alle mit entblendeten Rasterleuchten belichtet. Die Leuchte ist in der oberen Zone der wellenförmigen Sichtbetondecke eingebaut. Als integrierter Bestandteil der Decke ist der Leuchtepteppich mit der Grundstruktur des Gebäudes verwoben und verschwindet in der Perspektive. Das gleichmässige Leuchtenraster zieht sich über alle Bereiche und ist in Zonen mit tieferer Beleuchtungsstärke reduziert.

Eine gleichmässige, ruhige Lichtstimmung lenkt nicht vom grosszügigen Ausblick in die städtische Umgebung ab. Keine Oberflächen mit erhöhter Leuchtdichte stören

#### Objekt

Schulanlage Leutschenbach  
Saatlenfussweg 3,  
Zürich-Schwamendingen

#### Bauherrschaft

Stadt Zürich, Amt  
für Hochbauten

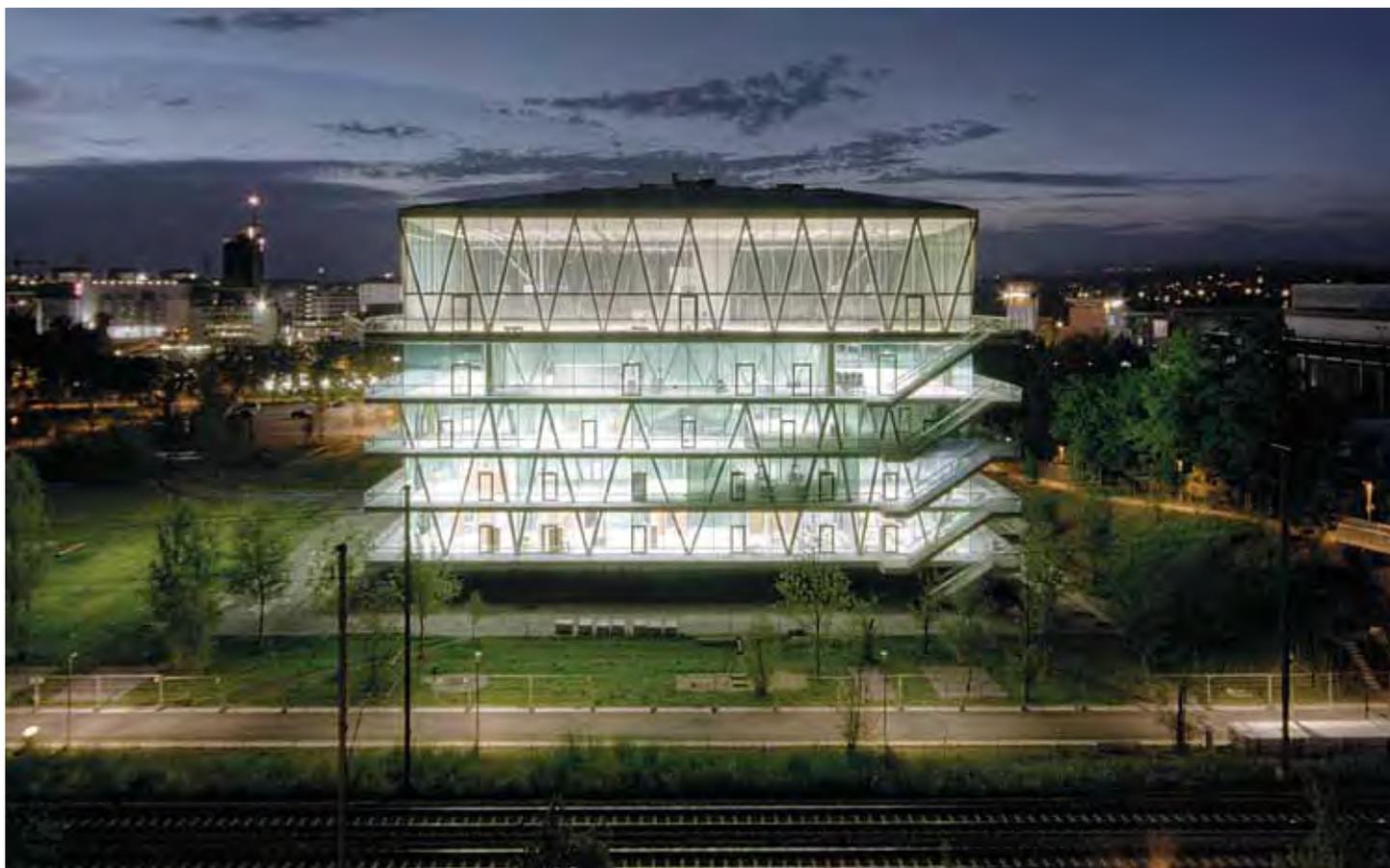
#### Architekt

Christian Kerez AG  
8045 Zürich

#### Lichtplaner

Amstein + Walthert  
8050 Zürich

*Abbildung 160:*  
Das Schulhaus Leutschenbach mit dem Sockelgeschoss, drei Obergeschossen mit Schulzimmern, dem Bibliothek- und Mediathek-Geschoss sowie der Turnhalle.



die Wahrnehmung im Gebäude. Und wie auf einer diffusen Lichtwolke gleich, scheint das Schulhaus zu schweben. In der Dämmerung leuchtet es wie eine riesige Laterne über dem neuen Stadtteil Leutschenbach. Die Komplexität der Struktur mit der Lichtführung zu vereinen, konnte keine Absicht sein. Die Zunahme der Stockwerkshöhen hingegen, dieses Auflösen der Pression im Erdgeschoss nach oben, der Versuch, mittels einheitlicher

Lichtführung diese Selbstverständlichkeit der Nutzung und Ausbildung zu zeigen, ist faszinierend. Keine Trennung von Unter- und Oberstufe, einheitliche Leuchtmittel, gut entblendete Leuchten, Minergie-Aspekte, Projektraum etc. waren Themen der Spielwiese Licht. Das Zurücktreten der Leuchten durch Entblendung und Integration in den oberen Teil der wellenförmigen Sichtbetondecke lässt das Gebäude einerseits durch die Materialien, aber auch

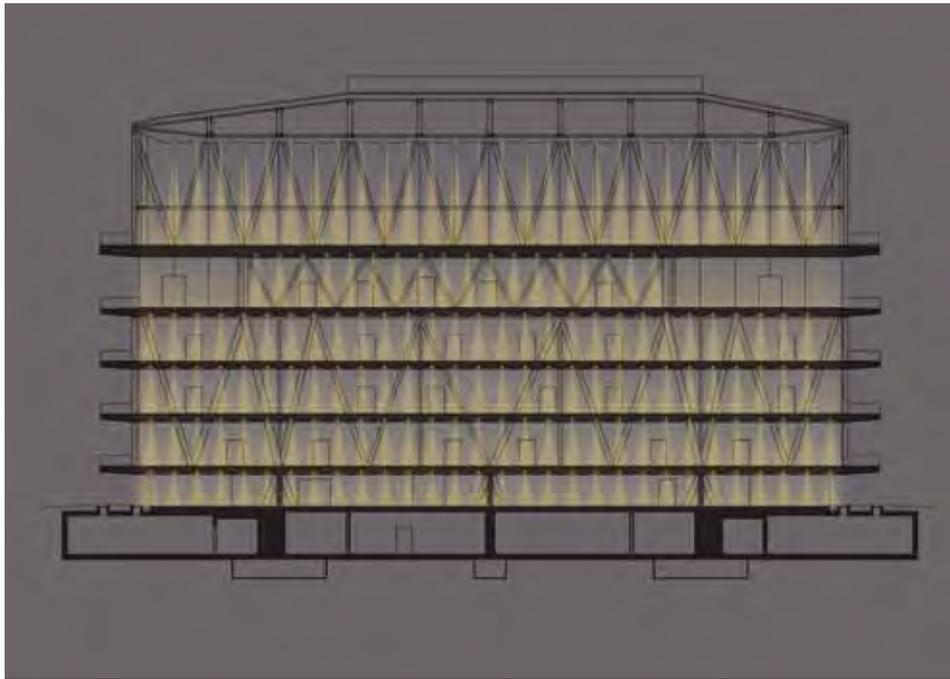


Abbildung 161:  
Schnitt durch das  
Schulhaus Leut-  
schenbach

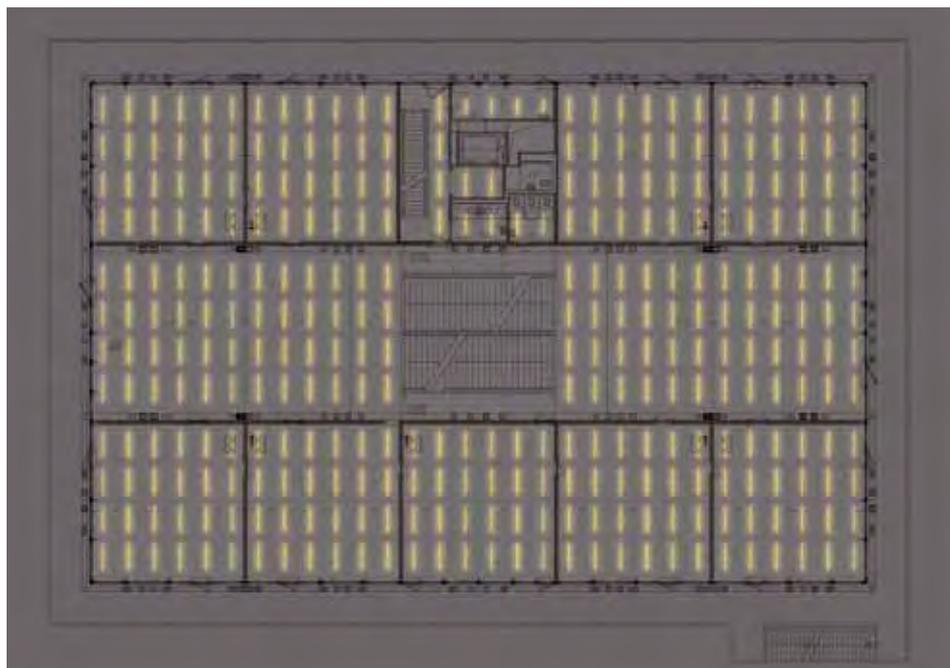


Abbildung 162:  
Grundriss 1. Ober-  
geschoss, Schulhaus  
Leutschenbach, mit  
den Positionen der  
Leuchten

durch die Lichtführung kristallin und gleichförmig erscheinen. Gegensätze, die sich auch in Lichtführung und Statik wiederfinden und sich trotzdem unterstützen. Das gleichförmig hohe Lichtniveau ermöglicht auch in der Kommunikationszone einen Schulbetrieb mit Projektunterricht.

### Projektbeschreibung

Unter Federführung des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich wurde 2002/2003 ein zweistufiges Wettbewerbsverfahren für den Neubau eines Primar- und Oberschulhauses durchgeführt, welches das Architekturbüro Christian Kerez gewann. Mit insgesamt 22 Klassenzimmern, einer Doppelsporthalle, Mediathek, Bibliothek, Mehrzwecksaal, Mensa, Kindergarten und einer Reihe von Werkstätten und Spezialräumen handelt es sich um das (nach der Schule Im Birch) zweitgrösste Schulhaus der Stadt. Christian Kerez hatte die Jury mit einem ungewöhnlichen Konzept überzeugen können: Während das umfangreiche Raumprogramm üblicherweise in einzelne Volumina gegliedert und nebeneinander angeordnet wird, verdichtete er es hier zu einem kompakten Baukörper, so dass die Freifläche des neu entstehenden, sich zwischen Andreasstrasse und Hagenholzstrasse aufspannenden Andreasparks nur in geringem Masse tangiert wird. Als 30 Meter hoch aufragendes Gebäude korreliert es mit den benachbarten Wohngebäuden, setzt einen Gegenakzent zu den kleinteilig strukturierten Wohnbebauungen aus den Nachkriegsjahrzehnten in Schwamendingen und wirkt als Zeichen des urbanistischen Aufbruchs im Zürcher Norden.

Ungewöhnlich ist aber nicht nur die Stapelung sämtlicher Räume in einem einzigen Bauwerk, sondern auch die Anordnung der Funktionsbereiche. Die Doppelturnhalle, zumeist ebenerdig oder in den Boden vertieft angelegt, bildet den oberen Abschluss des Gebäudes. Einen stützenfreien, in seinen Abmessungen vorgegebenen Raum mit den übrigen Geschossen zu überbauen, hätte Probleme bei der Lastabtragung ergeben. Daher entschieden sich Architekt und Tragwerksplaner zu

der umgekehrten Lösung. Den statischen Kern des Gebäudes bildet das als hinter die Fassaden zurücktretende Fachwerkkonstruktion ausgebildete vierte Obergeschoss, dessen Last über sechs Stützen in die Betonbox des Untergeschosses eingeleitet wird. Wie auf einem Tisch steht die Sporthalle auf dem vierten Obergeschoss. Zugleich aber sind die drei Schulgeschosse als Stahlgerüstkonstruktion von dieser Ebene abgehängt. So ergibt sich eine Rhythmisierung und funktionale Differenzierung des Volumens: Die Erdgeschoss- und Eingangsebene mit Mensa und Schülerclub wird vom Block der drei Klassenebenen, das vierte Obergeschoss mit Multifunktionshalle, Bibliothek und Mediathek von der annähernd gleich proportionierten Box der Sporthalle überfangen.

Die gegenläufige Treppenerschliessung in der Mitte ermöglicht kurze und voneinander getrennte Verbindungen für die Primar- und die Oberstufe. Die Klassenzimmer selbst, vom Grundriss her annähernd quadratisch, sind parallel zur nördlichen und südlichen Längsfront angeordnet. Die von den Treppen erschlossenen Bereiche dazwischen lassen sich im Einklang mit aktuellen pädagogischen Konzepten für den Projekt- und Gruppenunterricht verwenden; Korridore als reine Erschliessungszonen gibt es in der Schulanlage Leutschenbach nicht. Eine mehrfache Funktion übernehmen auch die um die Schulgeschosse ringsum vorgelagerten Balkonzonen: Sie können als Fluchtwege genutzt werden, fungieren als Verschattungselemente, dienen aber auch als Aufenthaltsbereiche und unterstützen somit die Flexibilität der

### Kenndaten Beleuchtung

Die Beleuchtung ist auf Basis der Richtlinien Gebäudetechnik, den Schulhausrichtlinien AHB, den Richtlinien BASPO und der Norm SN/EN 12464-1 mit Wartungsfaktor 0,8 geplant worden.	
Fertigstellung	2009
Beleuchtete Fläche	9 220 m <sup>2</sup>
Energiebedarf für Beleuchtung	73 MWh/a
Projektwert Beleuchtung	7,9 kWh/m <sup>2</sup>
Minergie-Zertifizierung	2009

### Kenndaten Kosten

BKP 233 Leuchten und Lampen	600 000 Fr.
-----------------------------	-------------

Raumnutzung. Neue Wege beschritt Christian Kerez schliesslich auch bei der Materialisierung. Von den Treppenkernen und der Box des Untergeschosses (mit Werkräumen und Technikbereichen) abgesehen, gibt es keine klassischen opaken Wände mehr.

Die Abgrenzung der Klassenzimmer untereinander und zu den Aufenthaltsbereichen in der Geschossmitte hin erfolgt durch Konstruktionen aus transluzentem Industrieglas, sogenanntem Profilit. Entstanden ist eine informelle, urban anmutende Lernlandschaft mit Ateliercharakter – jenseits der Muffigkeit traditioneller Schulstuben. Und in der Dämmerung leuchtet das Schulhaus von innen wie eine riesige Laterne über dem neuen Stadtteil Leutschenbach. (Quelle: Amt für Hochbauten Stadt Zürich)



Abbildung 163:  
Erdgeschoss



Abbildung 164:  
Blick aus der Turn-  
halle

## 8.2 Kongresszentrum Davos Ensemble aus Holz, Beton und Licht

Der Haupteingang zur Talstrasse gibt dem Kongresszentrum Raum für eine grosszügige Vorfahrt und eine würdige Eingangssituation. Die einladende Geste des geneigten Daches, welches sich bis in den Empfangsbereich erweitert, wird mit Einzeleuchten in Reihen platziert nachgezeichnet. Die Lichtbänder des Vordaches setzen sich im Innenraum fort und binden die Raumgefüge durch die trennende Glashaut zusammen. Die mit den freistrahrenden Leuchten erzeugte diffuse Lichtstimmung setzt sich in der angrenzenden langgestreckten Wandelhalle fort. Durch die hellen Raumbooberflächen und Addition der Leuchten wird die Decke in der Perspektive zur leuchtenden Fläche. Ergänzend zu dieser Grundbeleuchtung sind tiefstrahlende Downlights zwischen

den Lichtbändern platziert. Die unregelmässige Platzierung der Downlights wechselt mit der Strenge der Lichtbänder. Freigesetzte Lichtschwerpunkte kontrastieren mit der diffusen gleichmässigen Ausleuchtung. Die durchgehende Wand in der Wandelhalle kann für Ausstellungen mit Wandfluterspots ausgeleuchtet werden. Diese Wandscheibe öffnet sich im Bereich der ehemaligen Bühne zum neuen Foyer, dem alten Plenarsaal von Ernst Gisel. In diesem Bereich wurde auch das bestehende Lichtkonzept belassen. Über die grosszügige Treppe und durchs Foyer gelangt man zum neuen Plenarsaal. Dieser wird von der imposanten Wabendecke brücken-ähnlich überspannt. Die hell erleuchteten Waben lassen die Deckenkonstruktion schwerelos erscheinen; die Rippen werden zum schwebenden, dekorativen Ornament. Unter die Rippenebene

### Objekt

Erweiterungsbau  
Kongresszentrum  
Davos  
7270 Davos Platz

### Bauherrschaft

Landschaft Davos  
Gemeinde

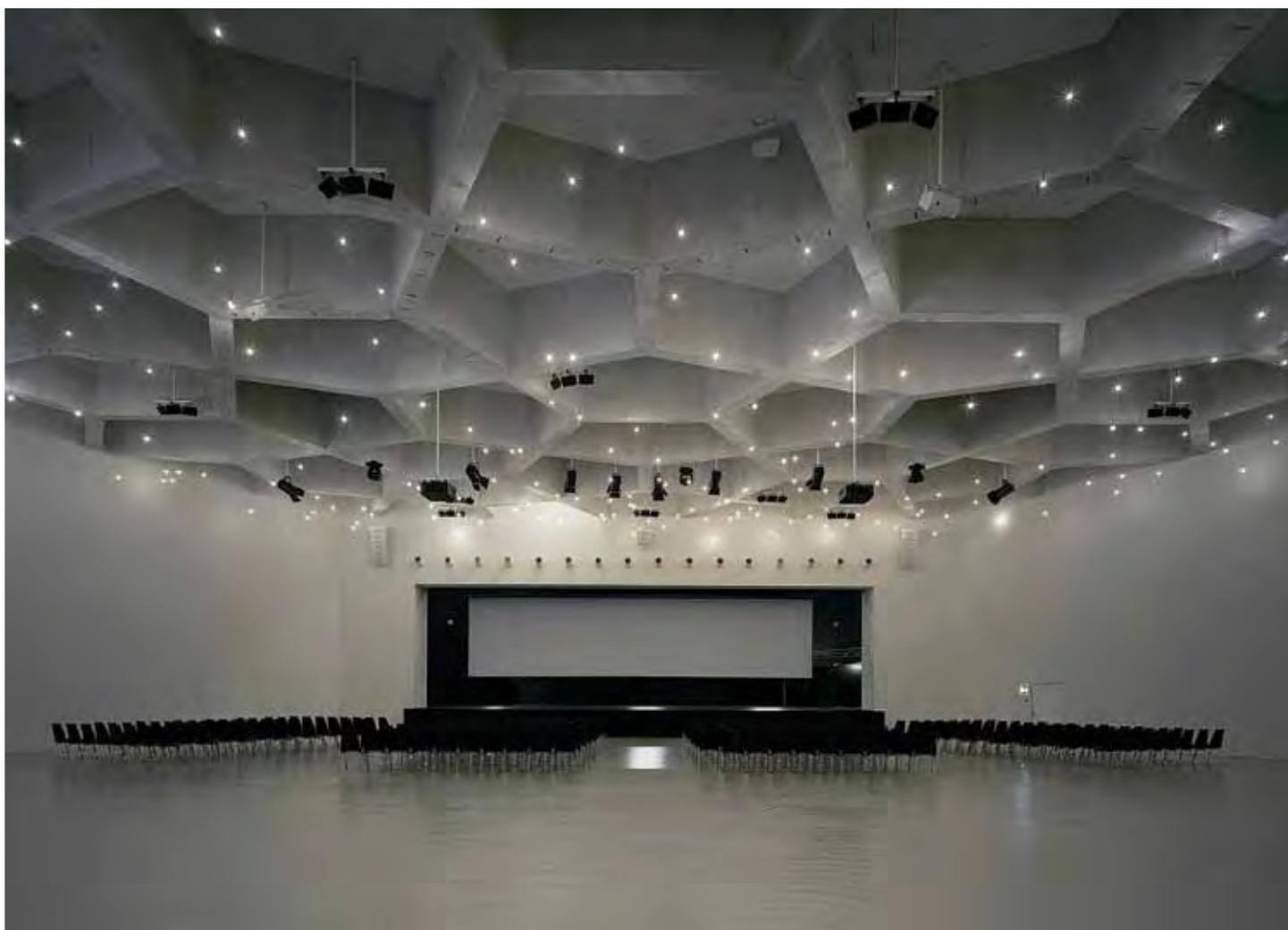
### Architekt

Degelo Architekten  
4052 Basel

### Lichtplaner

Amstein + Walthert  
8050 Zürich

Abbildung 165:  
Der neue Plenarsaal  
des Davoser Kon-  
gresszentrums



sind Lichtpunkte gependelt, welche, einem Sternenhimmel gleich, den Raum mystisch inszenieren.

Alle Leuchten sind in ihrer Bauart und in ihrem Einbau aufs Mindeste reduziert. Die freistrahrenden Fluoreszenzleuchten sind randlos deckenbündig eingebaut. Nur die Lampe ragt aus der Decke. In den Konferenzzimmern wird diese Leuchte um einen weissen Raster ergänzt, um im Kontext mit dem Raum die notwendige Entblendung zu gewährleisten. Die Wirkung von «Licht aus dem Loch» wurde für die engstrahlenden, in der Decke versenkten Downlights gesucht. Die filigranen Lichtpunkte im Plenarsaal sind als gependelte Stableuchten mit freistrahrenden Niedervolt-Halogenlampen konstruiert. Die anfängliche Idee, diese Leuchten in LED-Technik auszuführen, wurde im Laufe der Planung aufgrund der EMV-Störausstrahlung und der Störung der abhörsicheren Dolmetscheranlage fallen gelassen. Alle Leuchten sind regulierbar ausgeführt und sind eingebunden in verschiedene vorprogrammierte Lichtszenen. Die Lichtszenen erlauben, je nach Tageszeit und Anlass entsprechend, den Raum von schattenlos hell bis zu dramatisch dynamisch zu inszenieren.

Der Anspruch, verschiedenste Lichtstimmungen, die vor allem auch Raumstimmungen erzeugen, mit möglichst vielen

Nutzeranforderungen in Übereinstimmung zu bringen, führte in der Auseinandersetzung mit den Räumlichkeiten und den Architekten zur eigentlichen Lichtlösung. Finanzieller Rahmen, vertikale Beleuchtungsstärken zur Sicherstellung des Sehkomforts in den Kommunikationszonen, Festlichkeit und feierliche Atmosphäre, Verschiedenartigkeit und Mehrzweck mussten erfüllt werden. Das Resultat zeigt den Spagat, allen diesen Anforderungen gerecht zu werden. Im Nachhinein scheint eine Logik klar zu sein. Der Prozess, der dazu führt, beinhaltet immer eine mehr oder minder aufwändige Optimierung. Gewollte Eindrücke überlagern sich mit überraschenden Effekten. Ein solches Bauwerk birgt immer wieder mehr Überraschungen als Absichten.

#### Ein neues Wahrzeichen für Davos

Davos hat eine lange Tradition als Kongressort. Albert Einstein eröffnete 1928 die Davoser Hochschulkurse, die die intellektuelle Elite Europas nach Davos brachten. Ende der 50-er Jahre fanden dann die ersten Medizinkongresse statt. Weitsichtige Davoser entschieden 1967, ein Kongresshaus zu bauen, das schrittweise zum Kongresszentrum ausgebaut wurde. 2008 gewannen Degelo Architekten aus Basel den Wettbewerb für das erweiterte Kon-

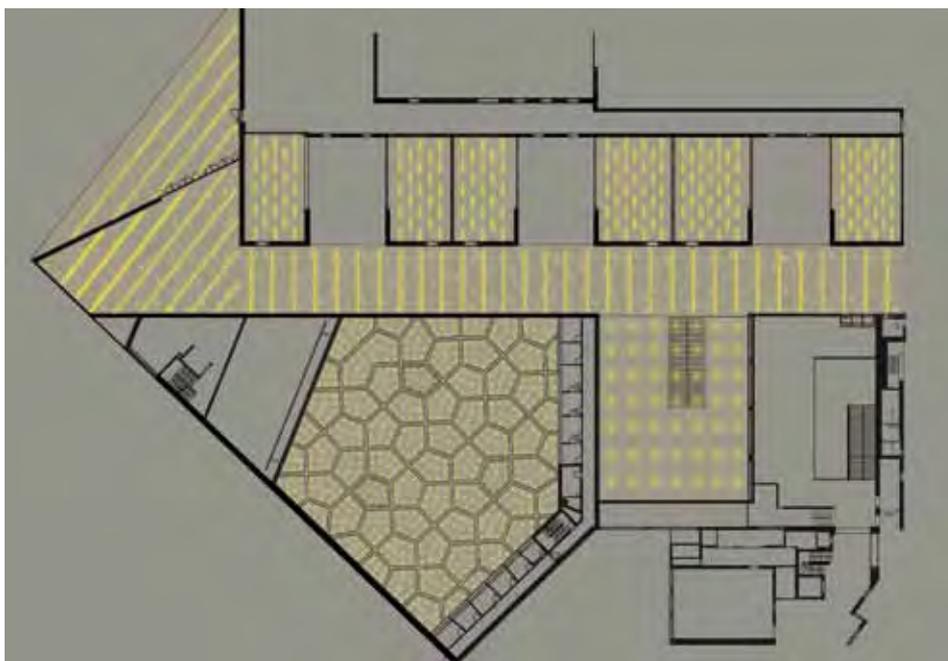


Abbildung 166:  
Grundriss Kurpark-  
geschoss

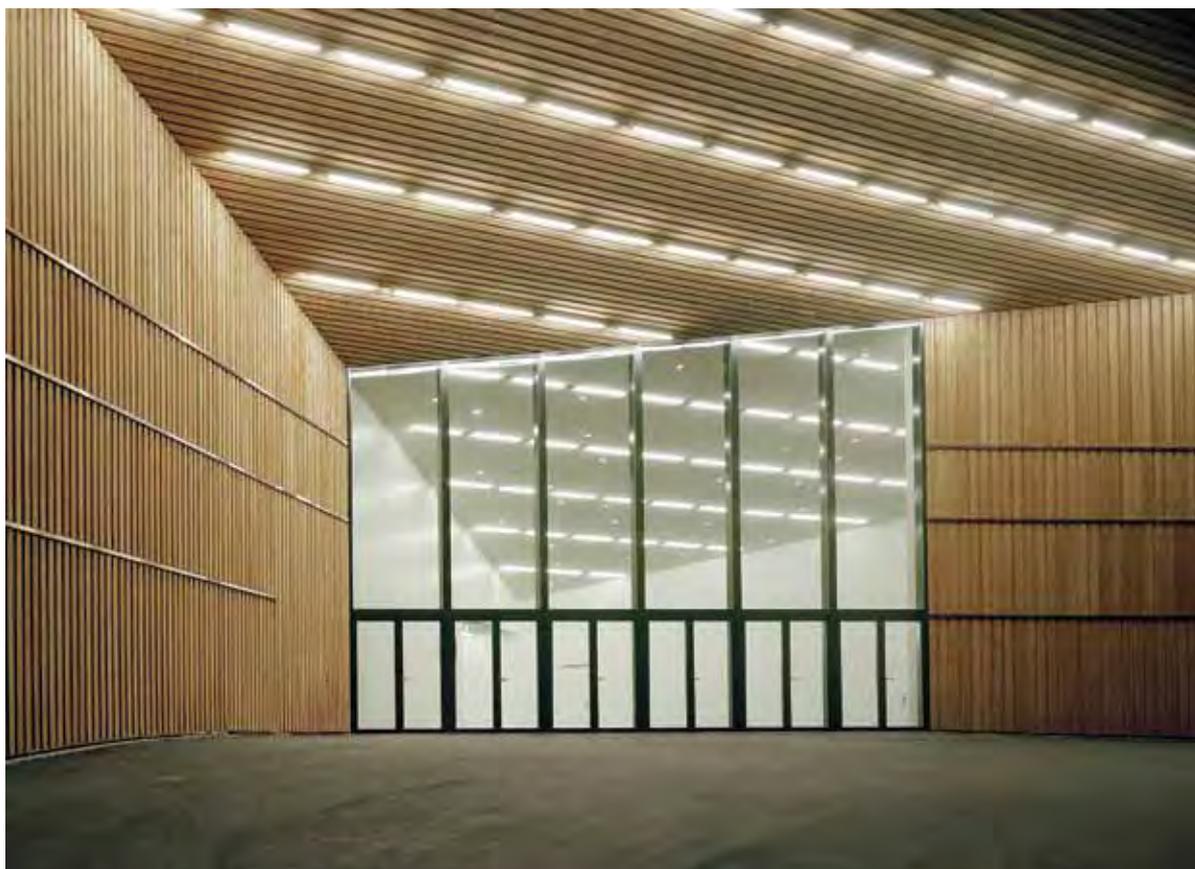


Abbildung 167:  
neue Vorfahrt Kon-  
gresshaus Davos

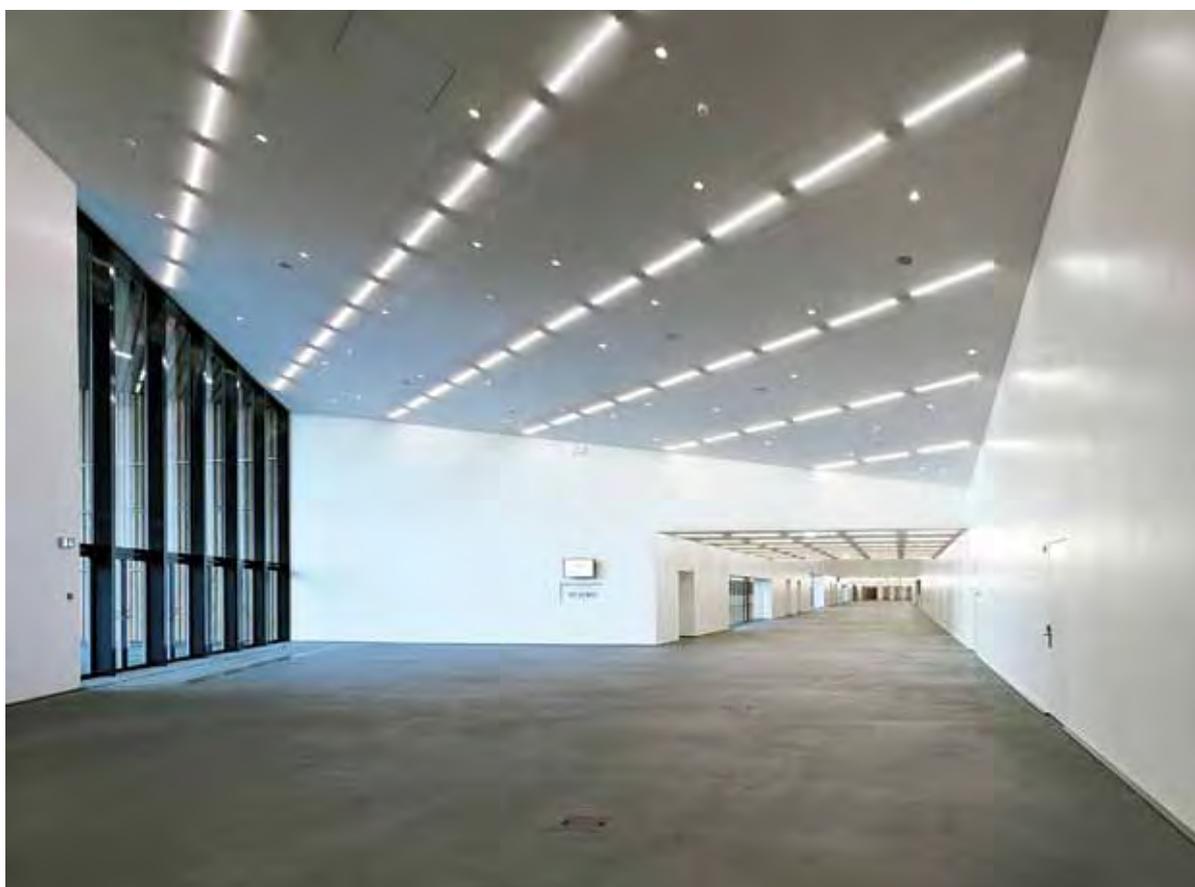


Abbildung 168:  
Eingangshalle mit  
Blick in Wandel-  
halle Kongresszent-  
rum Davos

gresszentrum, dank dem Davos seine Position als führender Kongressort der Alpen ausbauen kann.

### Architektur widerspiegelt die internationale Bedeutung

Die Erweiterung des Kongresshauses Davos bindet den vorhandenen zerfaserten Gebäudekomplex wieder zu einer Einheit zusammen, der in den grosszügigen Kurpark eingebettet wird. Der Haupteingang wird zur Talstrasse verlegt. Denn dort wird dem Kongresszentrum für eine grosszügige Vorfahrt und eine würdige Eingangssituation Raum gegeben. Den eigentlichen Ausgangspunkt der Erweiterung bildet der alte Plenarsaal von Ernst Gisel.

Als Foyer des neuen Kongresssaales wird dieser einer angemessenen Nutzung zugeführt und kann in seiner Qualität erhalten bleiben. Das Prinzip des um ein Geschoss erhöhten Zugangs und des tiefer gelegten Saales wird weitergeführt. Von der unteren Ebene des Foyers betritt man den neuen Saal mit optimaler Grundrissgeometrie. Das Kongresshaus funktioniert sowohl als Einheit mit einem leistungsfähigen Eingangsbereich für Grossanlässe, als auch mit drei autonomen Teilen, die entkoppelt und völlig unabhängig voneinander

betrieben werden können. Die Materialisierung mit Lärchenholz und Sichtbeton unterstützt das Zusammenwachsen der Gebäude zu einem Ensemble. Damit widerspiegelt sich die internationale Bedeutung des Gebäudes auch in seiner äusseren Erscheinung.

#### Kenndaten Beleuchtung

Die Beleuchtung ist auf Basis SN/EN 12464-1 mit Wartungsfaktor 0,8 geplant worden.

#### Wandelhalle und Empfang

Beleuchtungsstärke	Em 450 lux
Fläche	1100 m <sup>2</sup>
Fluoreszenz-Leuchten 82 x 31 W + 160 x 39 W = 8782 W	13 W/m <sup>2</sup>
Halogen-Leuchten 152 x 38,5 W = 5852 W entspricht	

#### Saal

Mittlere Beleuchtungsstärke	300 lux
Fläche	1390 m <sup>2</sup>
Halogen-Leuchten 307 x 10 W = 3070 W	17 W/m <sup>2</sup>
Pendelleuchten 750 x 26 W = 19500 W	
Fluoreszenz-Leuchten 25 x 39 W = 975 W entspricht	

#### Kenndaten Kosten

BKP 233 Leuchten und Lampen	780000 Fr.
Fertigstellung	2010

### 8.3 Technorama Winterthur Ein roter Faden führt durch das Gebäude

Aus der Not eine Tugend entwickeln. So könnte man den Planungsprozess für das Technorama Winterthur bezeichnen. Die Absichten und Voraussetzungen seitens Bauherrschaft und auch Architekten waren schnell einmal formuliert. Der Kostendruck war gross. Die Vorstellung, für einmal keine Leuchten in der Decke zu haben, führten mit der gewählten Materialisierung schnell dazu, sie in die Wände zu integrieren. Einerseits wird der Rhythmus damit klar lesbar und die dahinterliegende Technik zwar sichtbar. Aber gerade dieser Aspekt ist in einem Technorama gewollt. Die für den Umbau gewählten Materialien lehnen sich in ihrer Einfachheit und Zurückhaltung an das bestehende Gebäude

*Abbildung 169:  
Lichtwirkung der in  
der Zwischenschicht  
eingebrachten  
Leuchtstofflampen  
nach innen und  
ausser*

an und nehmen dessen industriellen Charakter auf. Die Tragstruktur des überstehenden Foyerkanals ist aus Beton, während dessen Fassaden mit transluzenten Scobalit-Sandwich-elementen verkleidet sind. Der Eintritt in den als Vordach dienenden Kanal erfolgt stufenweise: Der äussere Abschluss ist mit einem Industrierolltor versehen, während ein zurückversetzter, seitlich aufrollbarer Industrierivortrag aus weissem und transparentem Kunststoff zusammen mit einem Wärmeevorhang als Windfang den eigentlichen Zutritt ins Gebäude gewährleistet. Die seitlichen Verkleidungen der Anlieferungsrampe sind aus Scobalit-Lichtelementplatten. Dieses Spiel mit den Materialien und der Präsentation der Technik ist eine Thematik, die der Absicht des Technoramas entspricht. Es ist auch der Versuch, mit

#### Objekt

Neugestaltung Eingangsbereich und Restaurant, Technorama, Technoramastrasse 1, 8404 Winterthur

#### Bauherrschaft

Stiftung Technorama, Winterthur

#### Architekten und Bauleitung

Dürig & Rämi AG  
8004 Zürich

#### Lichtplaner

Amstein + Walthert  
8050 Zürich



nimalen Mitteln den grösstmöglichen Effekt zu erzeugen. Alle Massnahmen sind einfach und wurden in Zusammenarbeit mit den Architekten erarbeitet. Es handelt sich um hinterleuchtete Scobalit-Platten, unterleuchtete Raumkörper, aufgeständerte Garderobenhalter. Allesamt Massnahmen, die eine schwächere oder stärkere Wirkung haben, aber zusammen etwas Neues und Selbstverständliches entstehen lassen, das schon immer so hätte sein können.

Die Abbildungen zeigen die transluzente Lichtwellplatten-Fassade des Raumkanals, die mit Leuchtstofflampen hinterleuchtet sind, deren Licht sich im roten Epoxidharzboden spiegelt; die Fassaden der Kassen-Rondelle sind mit farbigen Leuchtstofflampen bestückt, deren Licht sich farbig an der abgehängten Decke aus Streckmetall-Paneeelen und am Boden reflektieren; die Sitzbänke, im Bild in der Garderobe, sowie die Ausstellungsmöbel im Shop sind bodennah mit weissen Lampen und roter Kunststoffabdeckung bestückt, sodass sie im Raum zu schweben scheinen; schliesslich sind die Regale im Shop mit glänzenden Silber- und Schwarzönen gestrichen.

### Analyse

Das Technorama in Winterthur wurde 1975 bis 1979 geplant und 1982 eröffnet. Das Museum, das mit 250 000 Besuchern pro Jahr eine der meist besuchten festen Ausstellungen der Schweiz ist, zählt zu den weltweit führenden Science Centers, in dem die Besucher mittels Experimenten auf spielerisch-lehrreiche Art unmittelbare Erfahrungen mit Phänomenen von Natur und Technik machen können. Seine stetig wachsenden Besucherzahlen (Verdoppelung zwischen 1993 und 1999!, bis zu 3 000 Besucher an Regen-Sonntagen!) haben eine Neugestaltung des Eingangsbe-

reichs und Anpassungen der Besucherinfrastruktur dringend notwendig gemacht, so dass im Frühling 2000 ein Wettbewerb für die baulichen Veränderungen ausgeschrieben wurde. Dürig & Rami gewannen den Wettbewerb und wurden mit der Planung des Umbaus beauftragt.

Gebäude aus den 60er und 70er Jahren haben vielfach keinen guten Ruf – man verbindet mit ihnen überbetonte und überstrapazierte Rationalität und Funktionalität und sagt ihnen vielfach auch Mängel im Konstruktiv-Technischen nach, da sie in der Nachkriegshochkonjunktur auf die Schnelle entstanden sind. Das Technorama ist vor dem Museumsboom der 80er Jahre entstanden und ähnelt eher einem sachlich-nüchternen Industrie- oder Gewerbebau als einem Museum.

Es ist jedoch konstruktiv solide gebaut und funktioniert als Behausung für die Technorama-Ausstellungen. Deshalb beschränken sich die von den Architekten vorgeschlagenen Eingriffe im Eingangsbereich, dem Restaurant, der Orientierung innerhalb des Gebäudes sowie der funktionellen und räumlichen Beziehung des Hauses zu den Aussenräumen auf ein Minimum.

Eine minimale, aber präzise architektonische Massnahme sowie die Verlagerung des Restaurants von seiner zentralen an eine periphere Lage lösen die funktionalen Infrastrukturprobleme rund um den Eingang des Technoramas auf einmal: Ein neuer, längsgerichteter und durchgehender Raum-Kanal als zentrale Erschliessungsachse. Die komplizierte Eingangslösung vor dem Umbau wurde durch einen geschickten und intelligenten Flächen-transfer gelöst, indem das Restaurant verschoben wurde. Diese Verschiebung hat zur konsequenten Klärung der Eingangssituation mit Garderobe und Shop auf der einen und Treppenhäuser und Restaurant auf der anderen Seite des zentral eingeschobenen Raumkanals geführt. Die Positionierung des Kanals ermöglicht vielfältigste räumliche Verknüpfungen und Sichtbeziehungen zwischen Kanal und den entlang einer Strasse angedockten Einrichtungen und Räumlichkeiten. Der Raumkanal verbindet den Vorplatz der Ein-

### Kenndaten Beleuchtung

Energiebezugsfläche (EBF)	1121 m <sup>2</sup>
Messwert Beleuchtungsstärke	275 Lux
Energieverbrauch Beleuchtung	10,21 kWh/m <sup>2</sup> a

### Kenndaten Kosten

BKP 23 Elektroanlagen	626 232 Fr.
-----------------------	-------------

gangszone mit dem rückseitigen Ausgang zum Park. Er ist gleichzeitig Foyer, Eingang, Pausenraum, Kommunikationsort, Orientierungshilfe und Wiedererkennungsmerkmal als Treffpunkt. Das Technorama erhält dadurch eine neue, zentrale Mitte als einprägsames und attraktives Zeichen, das mit seinem rot eingefärbten Boden aus Epoxidharz gleichzeitig ein heiterer Willkommensgruss für die Besucher und herausragendes Merkmal des neuen Technoramas ist. Der rote Teppich erwei-

tert sich als roter Kunstrasen auch auf den anliegenden Innenhof, der mit seiner grossflächigen Verglasung zwischen den beiden Versorgungskernen den neuen Foyerkanal belichtet. Der Innenhof wird somit zu einer dreigeschossigen räumlichen Erweiterung des Foyerkanals. Der rote Teppich dehnt sich auch auf den linksseitig anliegenden Garderobenbereich und den Shop sowie auf den gegenüberliegenden Innenhof aus. Die zentrale Positionierung des Foyerkanals ermöglicht

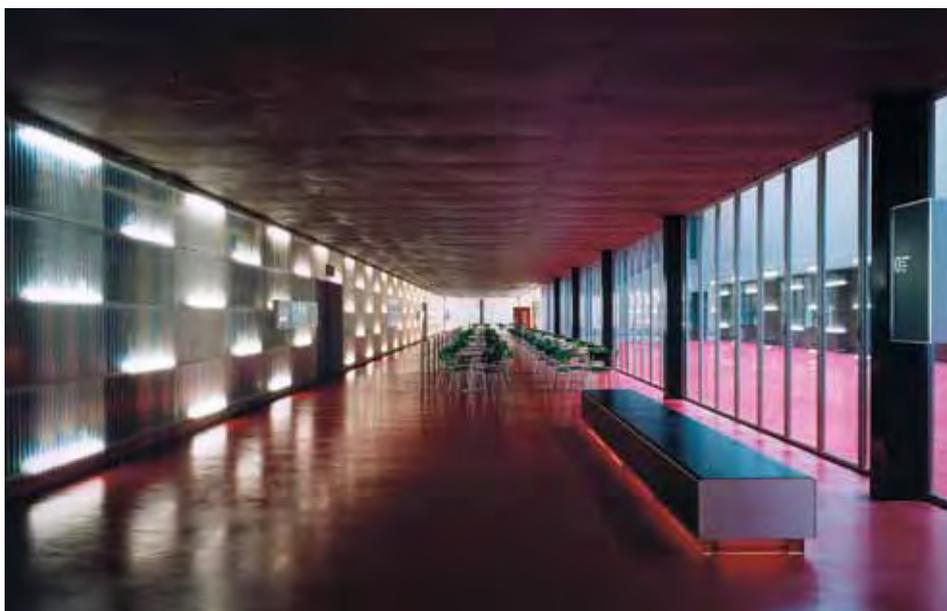


Abbildung 170:  
Neuer zentraler  
Verteilkorridor im  
Technorama



Abbildung 171:  
Zusatzkasse in der  
Eingangshalle

vielfältigste räumliche Verknüpfungen und Sichtbeziehungen zwischen Kanal und Kasse-Garderobe, Shop, Ausstellungsräumen und Hof. Das von Klaus Architekten, Mettmensstetten ausgeführte, neue Restaurant mit seinem Garten-Aussenbereich befindet sich rechts vom Eingang, peripher auf der Sonnenseite.

Der rote Foyerraum verbindet die beiden bestehenden Treppenhäuser zu einem gut funktionierenden, internen Erschliessungssystem und stellt einen attraktiven Durchblick zwischen dem Eingang und dem rückseitigen Park her.

Der Foyerkanal schiesst an beiden Enden zeichnerhaft aus dem Baukörper heraus, den Eingang am Vorplatz sowie den parkseitigen Ausgang markierend. Er verbindet somit die zentralen Aussenräume des Technoramas: Vorplatz, Innenhof und rückwärtige Erschliessung zum Park.

### Grundlagen

Durch den minimalen volumetrischen und infrastrukturellen Eingriff beschränken sich äusserliche Veränderungen am Haus auf ein Minimum. Es drängen sich auch keine massgeblichen Veränderungen an den Fassaden auf, da sie belichtungs- und witterungstechnisch den momentanen Ansprüchen voll genügen und eine umfassende Fassaden-Renovation mit einer besseren thermischen Dämmung in einigen Jahren weit wirkungsvoller gestaltet werden kann. Die bestehende, je nach Lichteinfall gold-schwarz schimmernde Industrieblech-Fassade soll auch nicht verändert werden, da sie zum unverwechselbaren äusseren Merkmal des Technoramas geworden ist und in ihrer Zurückhaltung auf die Wichtigkeit und Bedeutung des Inhalts des Museums verweist – der Inhalt ist der Star und nicht die Hülle.

Die Eingangsfassade wurde vom amerikanischen Künstler Ned Kahn aus Kalifornien gestaltet. Seine Skulptur Wind Vail, was Windsegel bedeutet, besteht aus 40'000 quadratischen Aluminium-Plättchen, die frei schwingend in einem riesigen, 75 m auf 15 m messenden, der Eingangsfassade vorgelagerten Aluminiumrahmen aufgehängt sind. Die Plättchen bewegen sich im

Wind und rufen dadurch verschiedenste Lichtreflektionen hervor, ähnlich der Spiegelung des Lichts in sich bewegendem Wasser. Die Konzeption der Eingangsfassade lehnt sich an den spielerisch-phänomenologischen Inhalt der Ausstellungen im Technorama an.

Der Umbau des Technoramas lehnt sich in seiner Einfachheit und seiner Detaillierung mit günstigen, industriell vorgefertigten Materialien nicht nur an den industriellen Charakter des Gebäudes an. Er widerspiegelt vielmehr auch die experimentelle Verspieltheit und den phänomenalen Charakter der Exponate im Science Center. Die gewählten Materialien spielen förmlich mit Licht- und Spiegeleffekten, glänzenden Oberflächen und starken Farbtönen.

## 8.4 Psychiatrisches Zentrum Appenzell

### Interpretierte Tradition

Das Lichtkonzept verfolgt das Ziel, mit einfachen Mitteln ein wohnliches Ambiente zu erzeugen. Die Entwicklung der Spezialleuchten erfolgte im gleichen Spannungsfeld von Tradition und moderner Adaption wie der Innenausbau. So unterstützen die Deckenleuchten aus satiniertem Glas und einbrennlackiertem Metall einerseits die traditionelle Raumwirkung. Die reduzierte Formgebung verleiht ihnen jedoch auch einen Hauch klassischer Moderne. Aufgrund des hohen Leuchtenwirkungsgrades erfüllen sie zudem die Kriterien des Minergie-Standards. Durch eine schmale Deckenfuge zeichnet sich auf der Decke eine dezente Korona ab, welche der

Leuchte eine gewisse Leichtigkeit verleiht und sie gleichsam unter der Decke schweben lässt. Gleichzeitig dient diese Fuge zur Kontrolle des Wärmehaushalts von Leuchtmittel und Vorschaltgerät. Die Grundform der Deckenleuchten findet sich auch in den Pendelleuchten in den höheren Erschliessungszonen und im doppelstöckigen Eingangsbereich wieder. In den Aufenthaltsräumen zeigt sie sich in einer Komposition von vierarmigen (kleeblattförmigen) Kronleuchtern. Die Beleuchtungsmassnahmen in den anderen Räumlichkeiten wie Büros, Patientenzimmer und Nasszellen zeichnen sich ebenfalls durch eine einfache Formgebung aus, die sich an die klare Sprache des Innenaubaus anlehnt. Das Ziel, eine warme Wohnlichkeit und Geborgenheit zu schaffen, die in keiner Weise an einen Spital erinnert aber

### Objekt

Psychiatrisches Zentrum Appenzell  
9100 Herisau/AR

### Bauherrschaft

Kanton Appenzell-Ausserrhoden

### Architekten

Harder Spreyermann Architekten  
ETH/SIA/BSA AG  
8004 Zürich

### Lichtplaner

Amstein + Walther, 8050 Zürich

Abbildung 172:  
Neuer Korridor im  
Psychiatrischen Zentrum  
Appenzell mit  
speziell entwickelten  
Pendelleuchten



auch eine helle Atmosphäre, die einen schnelleren Heilungsverlauf begünstigt, konnte so klar erreicht werden.

### **Wohnlicher Charakter bei absoluter Einfachheit**

Die 1908 von der Winterthurer Architektengemeinschaft Rittmeyer & Furrer fertiggestellte Irrenanstalt des Kantons Appenzell-Ausserrhoden in Herisau ist eine der bekanntesten ihrer Art in der Schweiz – auch ihrer für die damalige Zeit innovativen Anlage und Architektur wegen. Die Anlage wurde nach britischem und deutschem Beispiel in der Philosophie des «Non-restraint systems» erstellt, der zwangsfreien Behandlung. Diesem Prinzip, das den Kranken möglichst viel Freiheit gewährte und auf Wartpersonal statt auf Mauern und Gitter setzte, entsprach eine bauliche Komposition aus verschiedenen unabhängigen Pavillons in einer weitläufigen Gartenanlage. Die Gebäude werden charakterisiert durch den ausgeprägten Heimatstil und ihre Einbettung in die Landschaft. Als architektonische Gegenbewegung zu Historismus und Jugendstil wollte der Heimatstil modern und hygienisch sowie traditionsbewusst in einem sein. Licht, Luft und Sonne, die Prämissen der Moderne, prägten auch Heimatstilbauten. So wurde in Herisau Wert auf gute sanitäre Einrichtungen, Strom- und Wasserversorgung und eine Ausrichtung aller Gebäude nach Süden, zum Licht hin, gelegt. Zugleich sollten sie einen freundlichen, keinen spitalmässigen Eindruck machen, sich nicht allzu sehr von der landläufigen Bauart entfernen, sozusagen einen villenartigen Charakter haben, damit sich die Kranken darin möglichst wohl und heimisch

fühlen. Dieselben Leitsätze bestimmten die tiefgreifende bauliche Erneuerung des Hauses über hundert Jahre später. Ein grösstmöglicher Erhalt der bestehenden Bausubstanz und die Stärkung des gesamtheitlichen Erscheinungsbildes der Anlage waren die Hauptanliegen von Harder Spreyermann Architekten aus Zürich. Zugleich mussten sie das historische Gebäude an die funktionalen Anforderungen der heutigen Psychiatrie und an zeitgemässe bautechnische und energetische Standards anpassen. In einer Haltung des Weiterbauens haben sie mit tiefgreifenden Umbauten und einem neuen Anbau das Haus zu einem neuen Ganzen transformiert.

Der Einbau eines Bettenliftes mit den erforderlichen Erschliessungsflächen, die erforderlichen Diensträume an zentraler Lage und die Anbindung an den unterirdischen Erschliessungskanal konnten mit einem neuen, grösseren Mitteltrakt gewährleistet werden. Im Innenraum schafft der neue Mitteltrakt einen prominenten neuen Eingang mit einer zweigeschossigen Eingangshalle. Der breite bestehende Korridor und die Vorplätze der historischen Treppenhäuser bilden zusammen mit dem neuen Vorplatzbereich des Aufzuges ein grosszügiges Raumgefüge. Die charakteristische volumetrische Gliederung des Gebäudes an der Nordfassade schafft darin eine gute natürliche Belichtung und attraktive Ausblicke. Die Erschliessungsräume werden so zu attraktiven Bewegungs-, Begegnungs- und Kommunikationsorten für die Patienten.

Eine wesentliche programmatische Anforderung des Umbaus war die Anpassung der Patientenzimmer an heutige Standards. Es wurden 14 Ein- und 13 Zweibettzimmer geschaffen, die sich mit den hohen Fenstern zur Landschaft orientieren. Die Aufenthaltsräume profitieren von der räumlichen Qualität der historischen Bausubstanz. Die grossen Säle orientieren sich mit erkerartig auswölbenden Fenstern zum einzigartigen Panorama und machen mit den hundertjährigen Betonunterzügen die Modernität der damaligen Baukonstruktion sichtbar.

#### **Kenndaten Beleuchtung**

Die Beleuchtung ist auf Basis der VDI-Richtlinien 6008 und der SN/EN 12464-1 mit Wartungsfaktor 0,8 geplant worden.

Beleuchtete Fläche	2010 m <sup>2</sup>
Energiebedarf für Beleuchtung	32,7 MWh/a
Projektwert Beleuchtung	16,3 kWh/m <sup>2</sup>
Fertigstellung, Minergie-Zertifizierung	2010

#### **Kenndaten Kosten**

BKP 233 Leuchten und Lampen	168000 Fr.
-----------------------------	------------

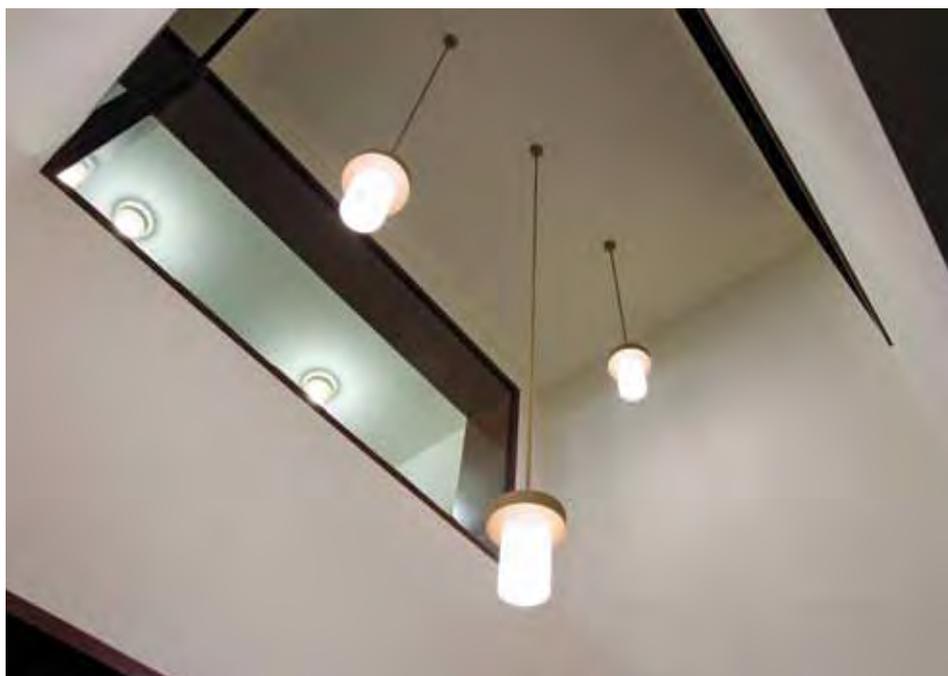


Abbildung 173:  
Blick nach oben im  
zweigeschossigen  
Eingangsbereich



Abbildung 174:  
Grundriss Erdge-  
schoss

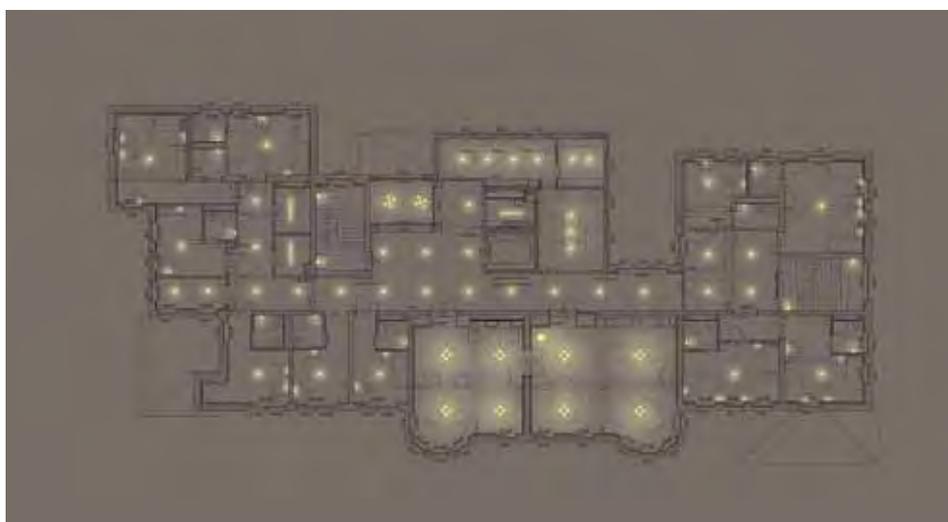


Abbildung 175:  
Grundriss 2. Ober-  
geschoss

Der Innenausbau ist im Hinblick auf heutige Akustik- und Brandschutzanforderungen vollständig neu konzipiert. Die Qualitäten des historischen Bestandes waren aber die Referenz für die innere architektonische Neuinterpretation. Kräftige Tür- und Fenstereinfassungen, prägnante Sockelleisten und täferartige Wandverkleidungen mit integrierten Schränken und

Regalen schaffen gesamtheitliches, traditionell anmutendes Intérieur. Die Linoleumböden führen die historische Materialisierung der Bodenbeläge weiter. Das braunrot gestrichene Holzwerk schafft mit den Linoleumböden in warmen Rot-, Braun- und Grüntönen eine Wohnlichkeit, welche die Erinnerung an das originale Intérieur ermöglicht.



Abbildung 176:  
Zugang zum Korridorbereich



Abbildung 177:  
Aufenthaltsraum

## 8.5 Kantonsbibliothek Liestal

### Leuchtturm für Bücher

Die gelbgrünen Böden und Möbel bilden einen bewusst gestalteten Kontrapunkt zu den warmen Brauntönen der hölzernen Tragstruktur. Leuchtstofflampen erzeugen einen Lichtteppich, der sich gleichmässig über die Geschossebenen legt. Wer das Gebäude betritt, taucht ins Licht. Beim Verlassen geht der Besucher aus dem Licht heraus. Ein Effekt, welcher durch die asymmetrische Anordnung der Deckenleuchten zwischen den alten Balken erzeugt wird. Die einfachen Leuchtstofflampen sind nicht in der Mitte des Rechtecks von Primär- und Sekundärstruktur der Balken montiert, sondern am Rand. Damit entsteht ein Lichtspiel, welches beim Betreten des Raumes die Leuchten zeigt, sichtbar werden lässt und sie beim Verlassen des Raumes im Verborgenen verschwinden lässt. Zudem entsteht innerhalb eines Deckenfeldes ein Lichtverlauf,

der dem Betrachter die Orientierung im Raum im Unterbewusstsein verankert. Diese Lichtthematik wurde einem Kirchenkonzept von Rudolf Schwarz entlehnt. Das Konzept der Beleuchtung ist bestechend einfach: Pro Geschoss sind offene Balkenleuchten in einem regelmässigen Raster an der Decke montiert. Das diffusweiche Licht der Leuchtstofflampen wird direkt in den Raum verteilt. Durch diese einfache Anordnung konnte eine extrem homogene Lichtverteilung bei sehr hoher vertikaler Beleuchtungsstärke erreicht werden. Die Analyse der Sehaufgabe und der kommunizierte Kompromiss erlaubte es, das Kriterium der Ergonomie weniger stark zu gewichten: Offene Leuchten werden in vielen Fällen nicht eingesetzt, da sie den Betrachter blenden können. Die Sehaufgabe in der Freihandbibliothek wird jedoch durch das Auffinden von Büchern und das Lesen definiert. In beiden Fällen ist die Blickrichtung parallel oder eher nach unten geneigt. Somit entzieht sich das Auge der eigentlichen Blendproblematik. Das

### Objekt

Kantonsbibliothek  
Baselland  
4410 Liestal

### Bauherrschaft

Bau- und Umweltschutzdirektion  
Kanton Basel-Landschaft, Hochbauamt  
4410 Liestal

### Architekten und Bauleitung

Liechti Graf Zumsteg  
5201 Brugg

### Lichtplaner

Amstein + Walther  
8050 Zürich

Abbildung 178:  
Ansicht der Kantonsbibliothek bei Dämmerung



Resultat ist eine homogene Lichtverteilung mit homogener vertikaler Beleuchtungsstärke. Messungen an den Bücherregalen haben gezeigt, dass der berechnete durchschnittliche Beleuchtungsstärkewert von 200 Lux weit überschritten wird.

Die Fensternischen sind abends mit zusätzlichen Einbauleuchten seitlich des Fensters erhellt. Ein Lichtband am unteren Rand der Nische betont die Struktur der Kastenfenster nachts. Bei Dunkelheit wird zudem der Glasaufbau zum strahlenden Leuchtturm. Zwei Werfer mit je 150 W Leistung erhellen die weisse Decke so, dass keine direkte Strahlung nach aussen gelangt.

Dank dem einfachen Aufbau der Balkenleuchte ohne Diffusor konnte ein gerechter Wirkungsgrad der Leuchten zwischen 95 % und 105 % erreicht werden. Dies war umso wichtiger, als der Bauherr anstelle der üblichen 200 Lux eine höhere Beleuchtungsstärke von 300 Lux forderte. Zudem erschwerten die dunklen Holzdecken die Beleuchtungssituation, da sie nur wenig Licht reflektieren. Hinzu kommt, dass durch die schmalen Kastenfenster nur wenig Tageslicht in die Räume gelangt.

Während das Dachgeschoss dank des Glasaufbaus tagsüber hell genug ist, müssen das erste und zweite Obergeschoss immer künstlich beleuchtet werden. Trotz des Lichthofes fällt nur wenig Tageslicht aus dem Dachgeschoss in die unteren Etagen, da das Licht seitlich in die gläserne Laterne einfällt. Die Decke des Glasaufbaus ist lichtundurchlässig.

Die ersten Simulationen der Beleuchtungssituation zeigten, dass die geforderte Lichtstärke von 300 Lux mit der geplanten Bestückung nicht überall erreicht werden konnte. Zusätzliche Leuchten zu installieren war nicht möglich, da der nach Minergie zulässige Energieverbrauch mit der geplanten Bestückung bereits erreicht wurde.

### Analyse

Im Jahr 1998 schrieb die Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft einen Architekturwettbewerb aus. Bei der Neugestaltung des historischen Gebäudes sollten die Tragwerk-

struktur und die Dachform erhalten bleiben. Das Architekturbüro von Peggy Liechti, Andreas Graf und Lukas Zumsteg entschied den Wettbewerb für sich mit einem Konzept, bei dem Alt und Neu zu einer unzertrennbaren Gesamtheit verschmelzen. Der Glasaufbau überhöht die ursprünglich markante Dachform. Die Architekten umhüllten das Gebäude bis auf die Höhe des ersten Geschosses mit Biberschwanzziegeln und liessen damit einen kubischen Dachkörper entstehen, der auf den Sockelbau aufgesetzt wirkt. Die mit breiten Kupferblechen gefassten Kasten-

Abbildung 179:  
Korridor (Kantonsbibliothek Liestal)



### Kenndaten Beleuchtung

Energiebezugsfläche (EBF)	4028 m <sup>2</sup>
Geforderte vertikale Beleuchtungsstärke	300 Lux
Messwert Beleuchtungsstärke	300 Lux

### Energieverbrauch Beleuchtung

Projektwert	15,3 kWh/m <sup>2</sup> a
Minergie-Anforderung	15,6 kWh/m <sup>2</sup> a
Zielwert SIA 30/4	12,8 kWh/m <sup>2</sup> a
Grenzwert SIA 380/4	23,8 kWh/m <sup>2</sup> a

### Kenndaten Kosten

BKP 233 Lieferung Leuchten und Lampen	340 000 Fr.
---------------------------------------	-------------

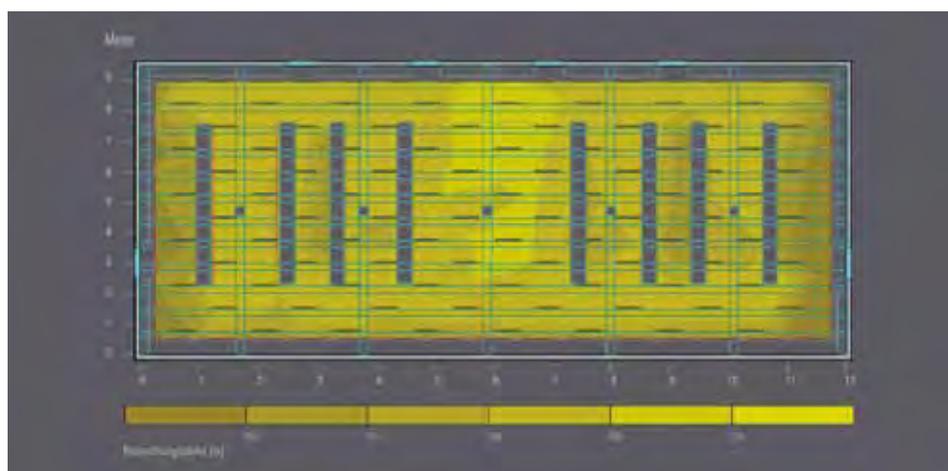


Abbildung 180:  
Beleuchtungsstärkeverteilung (Kantonbibliothek Liestal)



Abbildung 181:  
Cafeteria in der  
Kantonbibliothek  
Liestal



Abbildung 182:  
Ausleihe in der Kan-  
tonbibliothek Liestal

fenster verstärken die skulpturale Wirkung. Der Gebäudesockel ist grau verputzt und öffnet sich gegen den Platz mit einem grossen Fensterband. Zentrum im Innern des Gebäudes ist ein grosszügiger Licht-hof, der mit der Haupttreppe und den gläsernen Liften die Geschosse verbindet. Im Erdgeschoss lädt eine Cafeteria zum Verweilen, im ersten Obergeschoss bietet eine Leseterrasse Raum zum Studieren der Bücher. Auf insgesamt vier Geschossen bietet

die Freihandbibliothek 80 000 Bücher und Medien an. Rund um die hölzerne Tragstruktur stehen die Bücherregale, die im Einklang mit den restlichen Möbeln in gelbgrüner Farbe leuchten. In den Fenster-nischen laden Leseplätze die Besucher ein, sich mit Büchern oder Zeitschriften zurück-zuziehen. In den beiden Untergeschossen sind die Buchmagazine und die Biblio-theksverwaltung untergebracht.

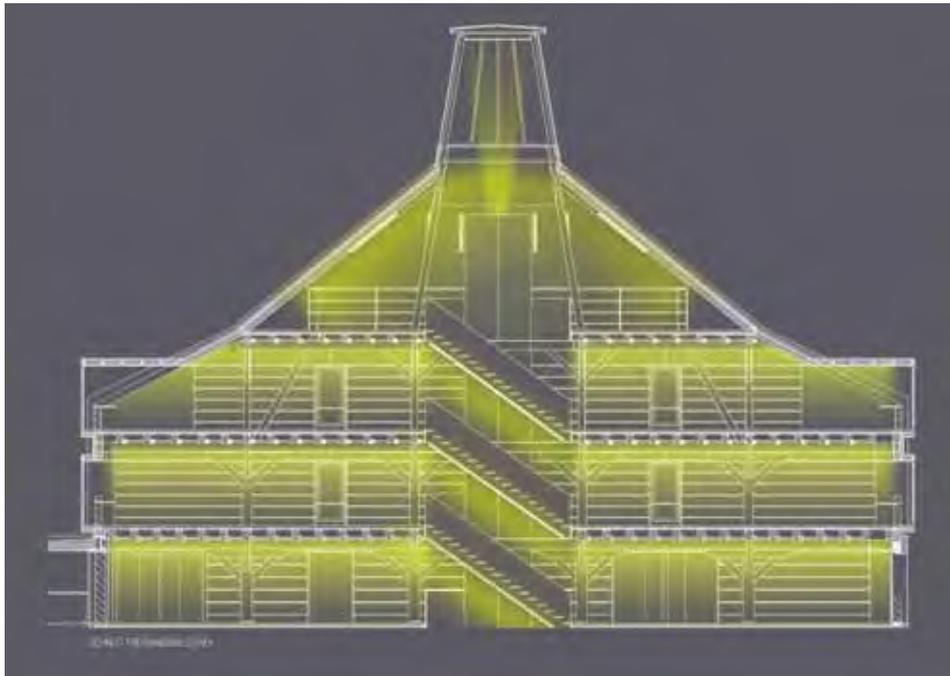


Abbildung 183:  
Schnitt

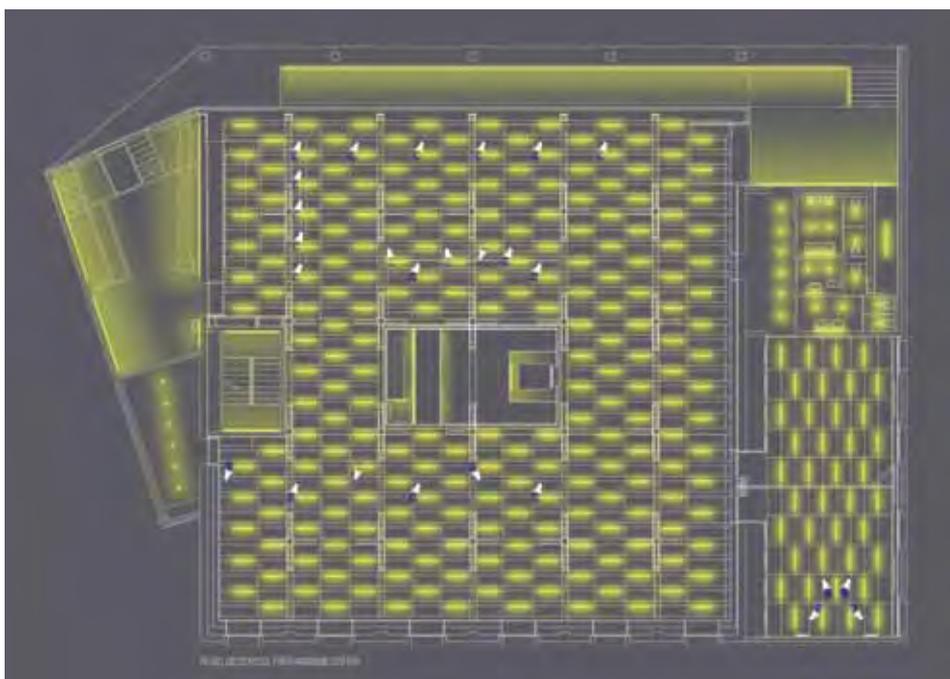


Abbildung 184:  
Grundriss Erdge-  
schoss

## 8.6 Triemli Stadthospital Leuchtturm der Stadt Zürich

Mit dem 2000-Watt-Spital Triemli soll ein Referenzobjekt für energieeffiziente Spitalbauten entstehen – so eines der Stadtzürcher Legislaturziele. Damit das ehrgeizige Ziel erreicht werden kann, muss der Energieverbrauch im Teilbereich «Beleuchtung» deutlich unter den Minergie-Anforderungen liegen. Während sich das Berechnungstool für Minergie-Beleuchtungen bei Schul- und Bürobauten bewährt hat – es gibt hervorragende Referenzobjekte – sind bei Spitälern sowie Alters- und Pflegeheimen erst Versuche und Hochrechnungen, jedoch nur wenige Erfahrungen vorhanden.

Der Handlungsbedarf ist laut Lichtplanern des 2000-Watt-Spitals enorm. Für sie ist der Gebrauchsort des Lichts zentral: An welcher Stelle ist welche Beleuchtungsstärke erforderlich und wie gelangt der Lichtstrom möglichst effizient dahin? Die

Lichtplaner halten sich dabei an den Grundsatz, dass Licht zur Sehaufgabe gehört und die räumliche Wirkung nicht zu vernachlässigen ist.

### Beleuchtungskonzept

Das Konzept «Licht zur Sehaufgabe» wird in einzelnen Bereichen von Spitälern seit langem umgesetzt. So werden zum Beispiel nicht alle Bereiche im Operationsaal mit den 10000 Lux beleuchtet, die an der Stelle des operativen Eingriffs nötig sind. Der gesamte OP ist natürlich ein Raum mit hohen Beleuchtungsstärken, aber einer mit teilmobilen Lichtquellen. Im Planungsprozess für das Triemli war analog zum Beispiel eine teilmobile Universal-Lichtquelle zu Beginn im Gespräch. Sie sollte vom Personal mitgeführt werden und das Licht zur Sehaufgabe bringen. Leider liess sich das Konzept nicht mit den Anforderungen an die Hygiene und Verfügbarkeit vereinen.

Abbildung 185:  
Das 2000-Watt-Spital  
Triemli in Zürich



### Top-down in allen Bereichen

Ob Flur, Patientenzimmer oder Behandlungsraum – in jedem Zimmertyp (Beleuchtungskategorie) musste eine virtuelle Versuchsreihe gefahren werden. Das Beispiel «Beleuchtung Bettzimmer im Bettenhaus» soll exemplarisch die Lichtwerkstatt im «Fall Triemli» erleuchten. Bei den Bettzimmern wurden drei Beleuchtungsvarianten in die engere Auswahl genommen – und mit einem Berechnungstool bewertet: Wandleuchten, die das Licht indirekt über der Decke verteilen, zentrale Deckenleuchten und zentrale Pendelleuchten. Bis fast zum Schluss wurde dabei mit theoretischen Leuchtentypen gerechnet. Die konkrete Leuchte soll bewusst erst ganz am Ende des Planungsprozesses gewählt werden. Die Funktion ist dabei entscheidend, nicht das Einzeldesign. Diese Top-down-Herangehensweise galt in allen Bereichen. Denn trotz der Fülle an Raumtypen, Geschossen und Funktionen muss am Ende mindestens der Gesamt-Zielwert der SIA-Normen erfüllt werden. Damit das Energiekonzept funktioniert, sind aber in der Summe weit tiefere Werte erforderlich. Beim kalkulierten Bettengeschoss steht der bereinigte SIA-Zielwert von 22,4 kWh/m<sup>2</sup> dem Minergiewert von 27,2 kWh/m<sup>2</sup> gegenüber. Der bereinigte Projektwert liegt bei 19,6 kWh/m<sup>2</sup>. Ein gutes Resultat, zur Euphorie darf es nicht verleiten. Noch stehen Unsicherheiten wie zum Beispiel die genaue Ausgestaltung des Sonnenschutzes oder das gewünschte Raumgefühl zwischen der Licht-

planung und der zukünftigen Beleuchtung im 2000-Watt-Spital. Auch Prozessverbraucher wie Leseleuchten oder Untersuchungsleuchten sind im Projektwert noch nicht enthalten, dennoch müssen sie berücksichtigt werden.

### Heterogene Herausforderung

Bei grossflächigen Raumtypen wie den Bettzimmern und Fluren ist die energetische Optimierung zentral. Kleinste Einsparungen können über das Erreichen der Vorgaben entscheiden. Schlecht reflektierende Wandfarben oder andere «Beleuchtungssünden» lassen sich kaum kompensieren. Die geforderte Planungssicherheit lässt sich nur erreichen, wenn die Beleuchtung aller Raumtypen optimal ist. Das gilt auch für die Sonder- und Versorgungsräume. Problematisch sind Räume mit sehr heterogenen Beleuchtungsanforderungen. In einem Patientenzimmer wird für die Funktion «Behandlung» 300 Lux und zur «Reinigung» 100 Lux gefordert. Der Wert für die Reinigung gilt auch auf Fussbodenhöhe und in den Ecken. Mit dezentralen Leuchten lassen sich 100 Lux aber nur schwer flächendeckend gewährleisten. Interessanterweise hat sich die aus den 60-er Jahren bekannte zentrale Deckenleuchte in den Versuchen als effizienteste Variante herausgestellt. Das scheinbar unattraktive Konzept muss neu gedacht und neu interpretiert werden. Bloss weil eine Variante auf den ersten Blick nicht attraktiv erscheint, darf sie nicht der Zensur der Lichtplaner zum Opfer fallen. Die ästhetischen Wünsche stehen dabei seitens der Auftraggeber auf Stufe vier, hinter Funktion, Energieeffizienz und Kosten. Das Bewusstsein, Räume für Menschen – kranke Menschen – zu erstellen und nicht nur eine funktionale Kiste zu erstellen, darf dabei nicht ausser acht gelassen werden. Geht es um die Beleuchtung der Spitalräume, dann muss neben der allgemeinen Beleuchtungsnorm SIA 380/4 auch die Norm SN-EN 12464-1 erfüllt werden. Sie gibt an, wie hoch die Beleuchtungsstärke bei festgeschriebenen Blendwerten sein muss. In Fluren sind mit 200 Lux andere Lichtverhältnisse gefordert als

#### Steckbrief

Gebäudetyp	Spital
Neubau oder Sanierung	Neubau
Fläche	32 000 m <sup>2</sup>
Standort	Stadt Zürich
Bauherrschaft	Stadt Zürich, Amt für Hochbauten
Architekt	Aeschlimann Prêtre Hasler AG
Lichtplaner	Amstein + Walthert AG
Anforderung SIA Grenzwert	41,6 kWh/m <sup>2</sup>
Anforderung SIA Zielwert	22,4 kWh/m <sup>2</sup>
Anforderung Minergie-Standard	27,2 kWh/m <sup>2</sup>
Projektwert Beleuchtung	19,6 kWh/m <sup>2</sup>
Anzahl Leuchten	ca. 9000

in Bettenzimmern. In einzelnen Beispielen aus dem Raum Zürich konnte punktuell von dieser Norm abgewichen werden. Nach der Sanierung wirken Flure, die bis anhin mit 70 Lux beleuchtet wurden, schon ab 100 Lux genügend hell. Durch die gekonnte «Bespielung» mit Licht und das geplante Reflektionsverhalten der Wände wirkt der Raum deutlich heller als die gemessenen 100 Lux vermuten lassen: eine effiziente Lösung.

### Gute Multiplikatoren

Für das 2000-Watt-Spital Triemli liegt das Ziel für die zu erreichenden Projektwerte

um 25 % unter den Werten für die Minerale-Beleuchtung. Wie viel das in kWh/m<sup>2</sup> heisst, hängt vom konkreten Raumtyp ab. Dabei wird von optimal betriebenen, ungedimmten Leuchten ausgegangen, um die geforderte Beleuchtungsstärke zu erreichen. Gedimmte Leuchten brauchen im Verhältnis zu ungedimmten mehr Energie. Sie werden nicht optimal betrieben. Eine Konstante für energieeffiziente Beleuchtungen ist, dass Standby-Verluste vermieden werden sollen. Schon die Vorschaltung «frisst» Energie – rund um die Uhr. Auch wenn die einzelnen Verluste von Dimmung und Vorschaltung eher beschei-



Abbildung 186:  
Korridor



Abbildung 187:  
Patientenzimmer

den sind, macht die Vervielfachung den Spareffekt interessant. Um den Multiplikationseffekt zu verdeutlichen: Wird in den Fluren jedes zweite Vorschaltgerät weggelassen, fällt demnach bei jedem zweiten Leuchtkörper eine Standby-Leistung von 0,35 Watt weg. Das erscheint bescheiden, bei 800 eingesparten Vorschaltgeräten sieht die jährliche Einsparung mit 2,5 MWh schon lukrativer aus. Eingesetzt werden neu Tandem-Vorschaltgeräte für jeweils zwei Leuchtkörper. Ihr Einzelverbrauch ist mit 0,35 Watt um ein Mehrfaches geringer als derjenige der Vorgängermodelle (2 Watt). Weniger Vorschaltgeräte verursachen auch eine geringere Erwärmung. Zur Entlüftung des Gebäudes wird weniger Energie benötigt. Mit den Tandem-Geräten fallen für die Flure pro Stockwerk des Bettenhauses 100 Watt Standby-Verluste an. Bei einer traditionellen Lichtplanung wird mit 600 Watt gerechnet. Jedes eingesparte Watt bringt das Team näher ans Ziel des 2000-Watt-Spital!

**Speziell in diesem Gebäude:**

- Präzise Auslegung der Normen und Sehaufgaben; begründete Verletzungen der Normen zugunsten eines geringen Energieverbrauchs unter Beachtung der Ergonomie.
- Weg von der grossflächigen Diffusausleuchtung hin zur Beleuchtung der Task Area und Sehaufgabe.
- Minimierung der Standbys und Zusammenfassung von Vorschaltgeräten beim Betrieb mehrerer Lampen.
- Optimaler Einbezug des Tageslichtes und des Aussenbezuges.
- Einsatz von Leuchten mit Minergie Label
- Trennung von Prozess- und Grundbeleuchtung.
- Alles wird hinterfragt: Leuchtwirkungsgrad, Vorschaltgerät, Lampenwahl, Materialisierungskonzept, Steuerung und Steuerungskonzept, Nutzung, Komfort, Benutzerverhalten.
- Standardplanung verhindert Zielerreichung.

## 8.7 Schauspielhaus Zürich

Im Foyer des Schauspielhauses Zürich ist eine Spezialleuchte aus gebranntem Keramik installiert, die tiefstrahlend und gleichzeitig diffus leuchtend ihr warmes Metaldampflicht verbreitet. Die dekorativ technische Leuchte muss neben energetischen auch gestalterische Vorstellungen erfüllen. Anhand von Bemusterungen konnte das gewählte Konzept abgesegnet und die Erfüllung von Vorgaben verifiziert werden. Die ursprüngliche Fassadenbeleuchtung wurde aufgrund unserer Vorstellung, wie die Architektur inszeniert werden könnte, entwickelt. Der Effekt, spezielle Anlässe mit einer zusätzlichen

Farbe zu akzentuieren, wurde ebenfalls gutgeheissen und mit der Signaletik abgestimmt. Die Entscheidung, die gesamte Aussenbeleuchtung in LED auszuführen, war richtig, jedoch nicht unter dem Terminusdiktat der Bauherrschaft. Die kurze Ausführungszeit hat zu Fehlern und zu Produkten geführt, die den Erwartungen an Qualität nicht standhalten konnten. Aus diesem Grunde sind die Abbildungen Zeitzegen einer Beleuchtung, die kräftig und effektiv zur Geltung kam, aber aufgrund unterhaltstechnischer Schwierigkeiten ersetzt werden musste. Die Ersatzbeleuchtung wirkt dagegen flach und emotionslos; sie ist aber sicherer.



Abbildung 188:  
Gesamtfassade mit  
Beleuchtung



Abbildung 189:  
Fassadenbeleuchtung

## 8.8 Lakeside Luzern Ein Minergie-Hotel

Das Büro Rüssli Architekten hat den Wettbewerb für das Lakeside-Gebäude in Luzern gewonnen. Noch im Rohbau war unklar, wer Mieter und wer Käufer werden wird. Schliesslich wurde ein Hotel in eine für Verwaltungsbauten geeignete Hülle eingebaut – ein Minergie-Hotel! Die Ansprüche waren also sehr hoch, und das zu einer Zeit, in der noch keine marktfähigen LED-Komponenten verfügbar waren. Tatsächlich waren Kritiken zu hören, dass mit den strengen energetischen Vorgaben keine behaglichen Lichtstimmungen generiert werden könnten. Zudem waren aufgrund der HLKS-seitigen Vorinstallation für Büroflächen die energetischen Aspekte der Beleuchtung genau vordefiniert.

Das eigentliche Lichtkonzept ist eine Mischung aus raumbegrenzender Lichtführung, dekorativen Leuchten und Akzentspots mit sonnenähnlicher Ausstrahlungscharakteristik. Eine Beleuchtung, wie wir sie in der Natur vorfinden: Heller Horizont mit diffusen Kontrasten durch das «Bewöl-

kungsbild» und gerichtetem Licht der Akzentstrahler als Ersatz für die Solarstrahlung. Die Lichtstimmungen sind durch den Lichtplaner bestimmt. Doch notwendig ist eine sorgfältige Einregulierung, denn in der Beleuchtung von Räumen sind Nuancen entscheidend. Dadurch wird jeder Raum einzigartig. Beispielsweise eine Balance zwischen diffusem und gerichtetem Licht ist anzustreben. Oder: wie sieht eine Stimmung im Raum aus, wenn sich das Wetter draussen ändert? Wenn es dunkel wird? Am Tag wirkt ein Bezug von innen nach aussen, in der Nacht ist es umgekehrt. Dieselben Aufgaben stellen sich in Schulungsräumen und in Konferenzsälen. Das Prinzip wiederholt sich, die Grundzutaten sind stets ähnlich – doch die Dosierung ändert!



Abbildung 190:  
Restaurant

## 8.9 AZ Medienhaus

### Kunst im Innenhof

Die Aufgabe bestand darin, die Fassade, welche nicht oder ungenügend funktionierte, ins rechte Licht zu rücken. Eine weitere Aufgabe stellte sich in den Innenhöfen, in denen es vor allem darum ging, Kunst am Bau in Szene zu setzen.

Bei der Fassadenbeleuchtung wurde schnell klar, dass die optischen Eigenschaften der Leuchte zwingend definiert und vor allem präzisiert werden mussten und dass es Remissionsflächen braucht, um Licht überhaupt über Reflexion wahrzunehmen. Das wurde direkt am Objekt besprochen und 1:1 bemustert. Diese Art der Bemusterung ist die effektivste und interessanteste, da man Erscheinungen, Situationen und Möglichkeiten entdecken kann, die man so nicht hätte planen können. Eine Bemusterung birgt damit Überraschungen, die meist positiv sind, da neue Erkenntnisse gewonnen werden.

Die abgependelten Medizinalschläuche waren als Reminiszenz an die Klinik, die sich eingemietet hatte, in Form einer Kunstinstallation gedacht. Die Idee der Architekten, das Tageslicht nach unten zu transportieren, zerschlug sich allerdings rasch. Geblieben waren transparente Kunststoffschläuche, die nutzlos von der Decke hingen und nichts als einen spärlichen Filter zum gegenüberliegenden Fenster bildeten. Um die Kunstidee besser umzusetzen, wurden die Enden der Schläuche mittels präzise entblendeten LED-Leuchten ausgerüstet. Dadurch ergibt sich beim Blick nach unten – in den Innenhof – ein Spiel, wie dies auf den Fotos erkennbar ist. Es kommt durchaus vor, dass die Innenhöfe nur noch über die Kunstinstallation beleuchtet sind oder dass sie mit dem Licht des gegenüberliegenden Fensters interagieren. Beides ist spannend und führt auch hier zu mitunter überraschenden Effekten.



Abbildung 191 und  
Abbildung 192:  
Kunstinstallation  
aus Medizinal-  
schläuchen mit LED

## 8.10 Bürohaus Helvetia Fenster und Leuchten

1989 gewann das damals nur lokal bekannte Architekturbüro Herzog & de Meuron (HdM) den Wettbewerb für die Erweiterung des Hauptgebäudes der Helvetia Versicherung auf dem Girtannersberg in St. Gallen. Bis zur Realisierung dauerte es über zehn Jahre. Die Helvetia Versicherung fusionierte mit der Patria, und das Architekturbüro HdM avancierte zu einem weltbekannten Namen. Das Ziel, die Tätigkeiten der Versicherungsgruppe in St. Gallen zusammenzufassen, blieb gültig.

Das äussere – spektakuläre – Merkmal des Gebäudes bildet die Fassade, in der durch das abwechslungsreiche Abdrehen der einzelnen Fenster um eine der vier Kanten ein Patchwork-Effekt entsteht; sie war damals nicht Teil des Wettbewerbsbeitrages. Die Nachbarbauten wie auch die bepflanzte Umgebung lösen sich in einem Kaleidoskop von Einzelbildern in der Fassade auf.

Die Anforderung an die Ausgestaltung der Büroräume wurde von der Helvetia Patria definiert: Die Architektur muss die Firmenziele umsetzen. Die Kombination von Büroräumen und Kommunikationszonen wird als altbewährtes Prinzip neu interpretiert. Dem Einzelbüro wie dem Grossraumbüro wird eine Absage erteilt, die Innen-

raumgestaltung unterstützt die Teamarbeit. Die einzelnen Büroräume sind nur mit einer geschosshohen Glasscheibe von der Kommunikationszone getrennt. Der Schalldämmwert dieser Konstruktion ist naturgemäss tief. Doch zeigt sich in der Praxis, dass auch so vertrauliche Telefonate möglich sind. Das Gestaltungskonzept beschränkt sich auf wenige Farben: weisse Wände und Decken, grauer Nadelfilz über einem Doppelboden sowie schwarze Fensterprofile.

### Visionäre Lösung für die Beleuchtung

Für die Architekten war an eine Installation mit Pendelleuchten nicht zu denken, weil diese eine zusätzliche horizontale Ebene im Raum definierten. Und Stehleuchten hätten den Rhythmus der Möblierung gestört, fand die Bauherrschaft. Nimmt man noch die Anforderung an die installierte Leistung der Beleuchtung hinzu, nämlich  $8,5 \text{ W/m}^2$ , bot sich keine einfache Ausgangslage. Die Lösung überrascht, auch wenn sie nicht völlig neu ist: Stehleuchten «stehen» an der Decke – jeweils drei pro Arbeitsplatz – und lassen sich individuell ausrichten. Das Design der «Pipe» stammt von HdM, für die Realisation richteten die Architekten einen Wettbewerb unter drei Leuchten-Profis aus. Der erfolgreiche Hersteller konnte 700 Leuchten nach St. Gal-

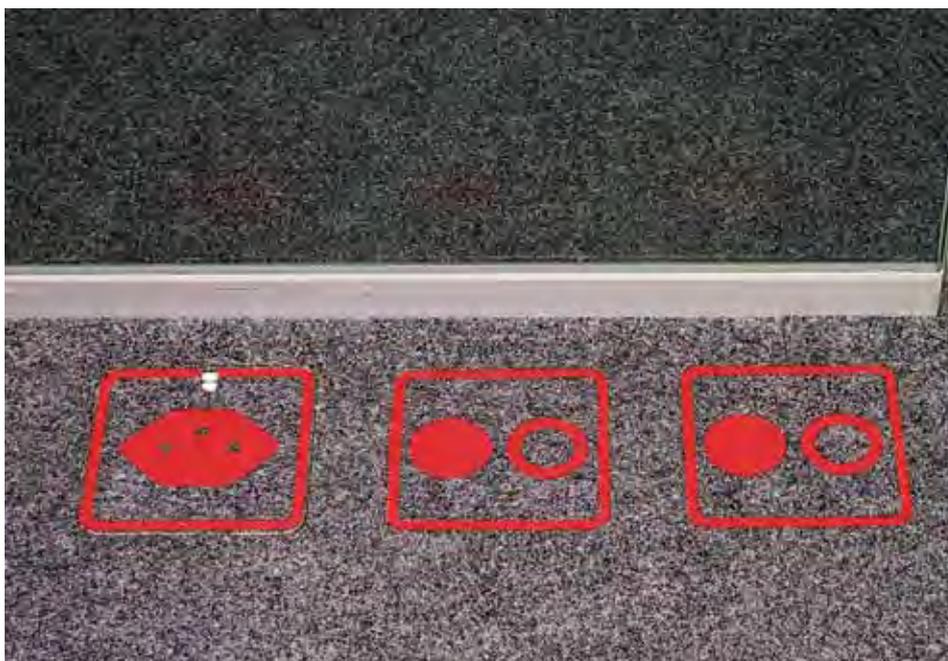


Abbildung 193:  
Im Boden integrierte Lichtschalter  
und Steckdosen



Abbildung 194:  
Bürohaus auf dem  
Girtannersberg in  
St. Gallen



Abbildung 195:  
Die Stehleuchten  
wachsen von oben  
in den Raum

len liefern – zu einem Markt üblichen Preis. Denn die Entwicklungskosten können über eine wesentlich grössere Serie abgegolten werden. Ein flexibles Stahlrohr, welches mit einem transparenten Platinsilikon eingepackt ist, geht in einen kegelförmigen und verspiegelten Lichtschirm über, in dem eine 32-Watt-Kompaktleuchstofflampe brennt. In der Regel liefert eine Leuchte direktes Licht auf die Arbeitsfläche und garantiert damit eine hohe Leuchtdichte, eine zweite Leuchte strahlt zur Decke; dieses indirekte, stark gestreute Licht setzt den Raum in Szene. Eine weitere, dritte Lampe wirkt als Spot zu einem Bild an der Wand. Die kleinen Löcher im Aluminiumreflektor ergeben brillante Lichtpunkte. Sie machen die Leuchte sichtbar und als Design-Objekt attraktiv. Eine Gefahr dieser individuell einstellbaren Beleuchtung ist die Blendung; sie kann schlecht kontrolliert werden. Die Praxis zeigt aber, dass bei der Einrichtung des Ar-

*Abbildung 196:  
Die Stehleuchte  
Pipe (Artemide)  
steht an der Decke,  
hat prominente De-  
signer und leuchtet  
in ein Bürohaus in  
St. Gallen*



beitsplatzes auf Nachbarn und Passanten Rücksicht genommen wird.

Die Pipe ist eine ergonomisch gute Leuchte, mit einem minimalen Energieverbrauch und überzeugendem Design. Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass trotz der Neuentwicklung keine Mehrkosten entstehen. Die Reaktionen der Angestellten auf das Leuchtendesign sind sehr unterschiedlich. Mit der Beleuchtung ist man generell zufrieden, die Gestalt weckt dagegen unterschiedliche Assoziationen. Die spezielle Form der Leuchte und das daraus resultierende Bild an der Decke führt zu einer Fülle von Namensgebungen.

### **Präsenz- und Tageslichtmelder**

Bewegungs- und Rauchmelder sind für jeden bauenden Architekten eine Plage. Sie kleben – vermeintlich zufällig – an der Decke und machen oft die Gestaltung kaputt. Doch nötig sind die Dinger gleichwohl; was die Industrie für die technisch sensiblen Geräte anbietet ist, mit Verlaub, bescheiden. Eine oft zu markant gestaltete Abdeckung schützt das empfindliche Gerät. Warum ist kein System verfügbar, bei dem Sensoren und Abdeckung getrennt sind, so dass für die Melder eine Auswahl von Abdeckungen erhältlich ist? Eine Aufgabe für die Industrie!

Herzog & de Meuron lösten das Problem auf ihre Weise: Der Melder ist in einer Aussparung der Betondecke eingelassen und der Sockel grün gestrichen. Nur die aparte Kunststoffpyramide streckt sich noch aus dem hellen Deckenverputz.

Pragmatisch wurde die Lichtsteuerung in den Büros gelöst: Statt Präsenzmeldern wurde eine Schaltuhr installiert, die das Licht 4-mal pro Tag ungeachtet der Personenpräsenz ausschaltet. Braucht der Mitarbeiter Licht, muss er die Beleuchtung manuell wieder einschalten. Mittels grosser Bodenschalter (Abbildung 193) ist dies sehr einfach möglich.

### 8.11 LED im Coop Pfäffikon

Im Oktober 2010 wurde der renovierte Coop-Supermarkt in Pfäffikon (Zürich) mit 100 % LED-Beleuchtung eröffnet. Gegenüber der früheren «Sparlampe-Technik» spart Coop in diesem Laden 50 % des Stromes ein.

#### Das Konzept Pfäffikon

Um mit LED nachhaltig Strom zu sparen, genügt es nicht, nur vorhandene Lampen 1 zu 1 durch LED zu ersetzen. Denn auch die bisherigen Lampen im Supermarkt sind im Vergleich zu Glüh- oder Halogenlampen bereits um ein Mehrfaches effizienter. Wenn man aber die LED-spezifischen Eigenschaften zu nutzen weiss und damit ein entsprechendes neues Beleuchtungskonzept realisiert, ist bereits heute eine zusätzliche Reduktion von 30 % bis 50 % gegenüber Sparlampen-Technik möglich. Die Grundidee der neuen Ladenbeleuchtung ist es, die LED-Leuchten deutlich näher an der präsentierten Ware zu montie-

ren, als dies üblicherweise der Fall ist. Die kompakte Bauweise und der wärmefreie Lichtstrahl verhindern, dass die nahe am Verkaufsgut installierte Beleuchtung störend wirkt. Durch die Lichtstrahlmodellierung wurde erreicht, dass genau der benötigte Bereich beleuchtet und unnötiges Streulicht vermieden wurde. Dadurch ist es möglich, mit nur noch 12 Watt pro Quadratmeter Verkaufsfläche die erwünschte Beleuchtungsstärke von 700 Lux auf der Ware zu erreichen. Das Resultat ist eine äusserst brillante Gestellbeleuchtung mit guter Kontrastwirkung. Das neue Beleuchtungskonzept im Coop Supermarkt in Pfäffikon besteht zur Hauptsache aus vier Komponenten:

- LED-Lichtschienen zur Regalbeleuchtung
- LED-Strahler für Verkaufsinself, Wein und diverse Akzente
- LED-Downlighter über Verkaufsvitrinen, z.B. Fleisch und Käse
- LED-Deckenaufheller für die Verbesserung des Raumeindrucks

*Abbildung 197:  
Regalbeleuchtung  
mit linearen LED-  
Schienen*



### Die Entwicklung von LED-Leuchten

Die neuen LED-Leuchten im Coop Supermarkt Pfäffikon waren nicht ab Stange erhältlich. Neue Produkte mussten entwickelt werden. Die wesentlichen Anforderungen:

- Genügend hohe Lichtmenge pro Leuchte
- Höchste Lichtqualität der LED
- Akzeptables Kosten-Nutzen-Verhältnis
- Verfügbarkeit der LED-Grundbausteine am Weltmarkt

Eine hohe Lichtmenge auf kleinem Platz ist zurzeit die grösste technische Herausforderung bei LED. Denn auch LED-Lampen erzeugen Abwärme – allerdings nicht im Lichtstrahl, umso mehr aber auf der Rückseite des Halbleiter-Elementes. Diese Abwärme muss abgeführt werden, sonst wird der Halbleiter zerstört. Bei grösseren LED-Leuchten ist die Wärmeabfuhr einfach; komplizierter ist es bei Strahlern, die sehr viel Licht aus einem Punkt heraus erzeugen. Der im Coop-Laden eingesetzte LED-Strahler verfügt deshalb zur Wärmeabführung über einen kleinen Ventilator. Die Konstruktion einer linearen LED-Leuchte stellte eine zweite Herausforderung dar. Denn das Licht von vielen effizienten Power-LED ist punktförmig. Und punktförmige Lichtquellen können schnell ein unregelmässiges Licht ergeben und stark blenden. Gefordert war aber eine möglichst gezielte und homogene Ausleuchtung bei gleichzeitig geringer Blendung.

### Die Wirtschaftlichkeit von LED

Trotz den grossen Fortschritten der letzten Jahre ist die LED-Beleuchtung mit Stand 2011 noch nicht wirtschaftlich. Die Investitionen für eine LED-Beleuchtung liegen in der Regel um den Faktor 2 über jenen einer herkömmlichen Beleuchtung. Neben der Energieeinsparung ergibt sich aber eine Verminderung der Unterhaltskosten: Da LED-Lampen bis zu 20 Jahre brennen, entfallen die Lampenersatzkosten.

### Zusatznutzen von LED

Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung ist zu berücksichtigen, dass LED weitere Eigen-

schaften besitzen, die vor allem im Verkauf und in Museen wertvolle Zusatznutzen bringen:

LED-Licht ist frei von Ultraviolett- und Infrarotlicht: Der Alterungsprozess von Frischprodukten (z.B. Käse, Fisch, Fleisch) und von Farben (Kleider, Bilder) wird deutlich verringert. Beispiel: Aufgeschnittene Wurstware in einer Auslage muss unter LED-Licht seltener weggeworfen werden als unter bisherigen Strahlern.

Die Lichtfarben von LED lassen sich beliebig variieren. Insbesondere können auch Weisstöne so eingestellt werden, dass die Ware optimal präsentiert wird. Blaue oder grüne Gegenstände sehen unter kaltweissen Licht viel natürlicher aus, während gelbe und rote Gegenstände mit warmweissen Licht brillieren.

### Das Projektteam

Das LED-Projekt in Pfäffikon wurde durch Fachleute von Coop, Regent Lighting und eteam erarbeitet und umgesetzt und vom Bundesamt für Energie finanziell unterstützt.

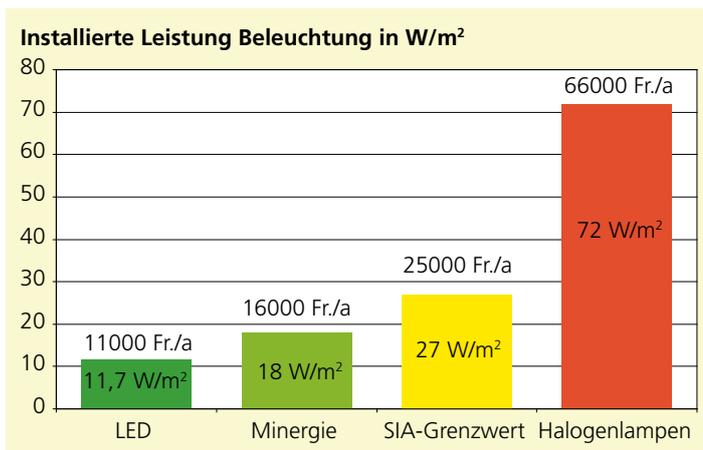


Abbildung 198:  
Installierte Leistung  
Beleuchtung und  
Stromkosten im  
Supermarkt im Ver-  
gleich (jeweils Fr.  
pro Jahr)



Abbildung 199:  
LED-Schienen in der  
Endmontage



Abbildung 200:  
Fisch bleibt länger  
frisch unter LED

## 8.12 Wohnhaus mit optimierter Beleuchtung

Viele Energiesparhäuser liegen in Agglomerationen; der Energieaufwand für die dazugehörige Mobilität übersteigt oft den häuslichen Bedarf. Je nach Systemgrenze zur Bewertung der Energieeffizienz ergeben sich deshalb ganz andere Zahlen. Das gilt auch für das Ferienhaus der Familie Gasser-Stokar im Lugnez. Bei einer typischen Nutzung braucht die Fahrt mit dem Auto mehr Kilowattstunden als für die ganzjährige Beheizung des Minergie-Hauses notwendig ist. Für die Bauherrschaft gilt der Vergleich nur bedingt: Sie fährt im Zug in die Berge – 16.37 Uhr ab Zürich HB. Der dreigeschossige Strickbau bildet, zusammen mit dem Benefizium des Klosters Disentis und der Antonius-Kapelle aus dem Jahre 1670, den südlichen Abschluss

von Rumein, einer Fraktion von Degen bei Vella. Hinter den Strickbalken aus Föhrenholz verbergen sich 25 cm imprägnierte Papierschnitzel. Die Kombination von guter Wärmedämmung, hochwertiger Fenster und Lüftung mit Wärmerückgewinnung drückt den Heizbedarf auf 30 kWh je m<sup>2</sup> Wohnfläche (entspricht drei Liter Heizöl). Ein Holzofen und eine Wärmepumpe decken diesen Bedarf. Vorbildlich ist auch die Beleuchtung der Räume: Im Wohnturm sind insgesamt 24 Leuchten installiert; mit zwei Ausnahmen sind sie mit punkt- oder stabförmigen Energiesparlampen und LED ausgerüstet. Mit einer spezifischen Leistung von 3,6 Watt pro m<sup>2</sup> liegt das Haus Gasser-Stokar um drei Viertel unter dem schweizerischen Durchschnitt für Haushalte (12,8 Watt). Dunkel wird's im Haus Gasser deswegen nicht. Brillanz, Brillanz! empfiehlt der

**Objekt**  
Haus Gasser-Stokar, Rumein

**Architekt**  
Gion A. Caminada, Vrin

**Lichtplaner**  
Stefan Gasser, eteam, Zürich

	Position	Leuchte	Lampe	Leistung
EG	Esstisch	Pendelleuchte	Leuchtstoffröhre 16 mm	54 W
	Küche	Wallwasher	Leuchtstoffröhre 16 mm	28 W
	Dampfabzug	Einbauleuchte	Energiesparlampe	11 W
	Lesenische	Spot	NV Halogen IRC	35 W
	Spensa	Wandleuchte	LED	11 W
	Wohnen 1	Stehleuchte	HV Halogen IRC	200 W
	Korridor	Downlight	LED	12 W
	WC	Wandleuchte	LED	6 W
	Treppe	Wandleuchte	Kompakt-Leuchtstofflampe	13 W
1. OG	Wohnen 2	Stehleuchte	Leuchtstoffröhre 26 mm	36 W
	Wohnen 2	Wandleuchte	Kompakt-Leuchtstofflampe	13 W
	WC/Dusche	Wandleuchte	Leuchtstoffröhre 16 mm	24 W
	WC/Dusche	Wandleuchte	Kompakt-Leuchtstofflampe	13 W
	Schlafzimmer 1	Stehleuchte	Leuchtstoffröhre 26 mm	58 W
	Schlafzimmer 1	Leseleuchte	LED	4 W
	Treppe	Wandleuchte	Kompakt-Leuchtstofflampe	13 W
2. OG	Korridor	Wandleuchte	Kompakt-Leuchtstofflampe	13 W
	Schlafzimmer 2	Stehleuchte	Kompakt-Leuchtstofflampe	42 W
	Schlafzimmer 2	Leseleuchte	LED	4 W
	Schlafzimmer 2	Leseleuchte	LED	4 W
	Schlafzimmer 3	Tischleuchte	LED	12 W
	Schlafzimmer 3	Leseleuchte	LED	4 W
	Schlafzimmer 4	Leseleuchte	LED-Spots	12 W
	Schlafzimmer 4	Pendelleuchte	LED-Spots	12 W
	WC/Bad	Wandleuchte	Leuchtstoffröhre 16 mm	24 W
Gesamtgebäude			Installierte Leistung	658 W
			Energiebezugsfläche	182 m <sup>2</sup>
			Spezifische Leistung	3,6 W/m <sup>2</sup>
			Schweizer Durchschnitt	12,5 W/m <sup>2</sup>

*Tabelle 49:  
Leistungsbilanz der  
optimierten Be-  
leuchtung im Haus  
Gasser-Stokar*

*Abbildung 201:  
Minergie-Beleuch-  
tung in Wohnhaus  
in Rumein-Degen  
(GR)*





Wohnberater seinen Klienten, und wirbt für kontrastreiches Licht mit hellen Akzenten und starken Schatten. Für die Bewohner sind das Merkmale von Verkaufsräumen: «Eignet sich die Strategie aus dem Verkauf, beispielsweise einer Bijouterie, für unsere Wohnungen?» Die Frage ist rhetorisch. Denn die verkaufsfördernde Inszenierung des Lichtes zielt auf Effekte, die sich mit der ruhigen, unaufgeregten Atmosphäre eines Wohnraumes kaum verträgt. Statt harter Kanten finden sich in diesem Haus weiche Übergänge, statt exaltierte Aufschreie zweckmässige Lichtinseln. Diese Form der Differenzierung ermöglicht eine subtile Orientierung und bringt die Architektur des Gebäudes zur Geltung. Das Licht ist Erfüllungshilfe der Architektur, meint der grosse Louis Kahn – im Haus Gasser-Stokar ist dieser Satz gebaute und installierte Realität.



Abbildung 202:  
Innenansichten der  
Wohnraumbeleuchtung

## Kapitel 9

# Anhang

## 9.1 Autoren



**Stefan Gasser**, dipl. Elektroingenieur ETH, bis 1996 Bereichsleiter für rationelle Stromnutzung bei Amstein+Walthert AG, seit 1996 selbstständiger Energieberater und Leiter von Forschungs-, Entwicklungs- und Umsetzungsprojekten für den effizienten Stromeinsatz in Beleuchtungen für Bundesamt für Energie, Stadt Zürich, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Minergie, Elektrizitätsversorgungsunternehmen (ewz, EKZ, BKW), Flughafen Zürich, Coop, Credit Suisse, etc. Präsident der Kommission Norm SIA 380/4.



**Daniel Tschudy**, dipl. Architekt ETH, Nachdiplomstudium Lichttechnik an der Technischen Universität Ilmenau, 1996, MBA University of Southern Queensland (2010), Partner und Mitglied der Geschäftsleitung von Amstein+Walthert AG, zahlreiche Projekte für Lichtgestaltung in Bauten und Anlagen sowie für Normierung und Energieeffizienz, Vorstandsmitglied der SLG und Delegierter bei CEN.



Einige Beiträge stammen von **Gabriel Baltensweiler**, Designer und Hersteller von hochwertigen Leuchten im gleichnamigen Familienunternehmen, seit 1951 in Ebikon bei Luzern.

## 9.2 Weiterführende Infos

<b>Lampenhersteller</b>	
<b>www</b>	<b>Beschreibung</b>
lighting.philips.ch	Das Schweizer Internetportal eines der drei grössten Lampenhersteller.
ecat.lighting.philips.com	Der elektronische Katalog von Philips bietet Informationen zu Lampen und Leuchten.
osarm.ch	Das Schweizer Internetportal eines der drei grössten Lampenhersteller.
catalogx.myosram.com	Der elektronische Katalog von Osram bietet Informationen zu Lampen und Leuchten.
gelifighting.com/de	Deutsches Portal von General Electric (GE). Osram, Philips und GE produzieren 75 % aller Leuchtmittel weltweit.
megaman.de	Qualitativ hoch stehende Spar- und LED-Lampen als Alternative zu den Giganten Osram und Philips; Vertretung in der Schweiz durch die Firma Sog-Unilight AG (sog-unilight.ch)
ledon-lamp.com	Österreichischer Hersteller von qualitativ hoch stehenden LED-Lampen
ondis.ch	Schweizer Nischenanbieter von qualitativ hoch stehenden LED-Lampen im Retrofitbereich.

<b>Hersteller von Leuchten und Betriebsgeräten (Auswahl)</b>	
<b>www</b>	<b>Beschreibung</b>
regent.ch	Die grösste Schweizer Firma für Leuchten und Beleuchtung
zumtobel.ch	Die österreichische Firma ist die zweitgrösste auf dem Schweizer Markt.
baltensweiler.ch	Das seit 60 Jahren tätige Schweizer Unternehmen ist spezialisiert auf effiziente Leuchten für hohe Design-Ansprüche.
belux.ch	Ebenfalls eine Schweizer Leuchtenfirma mit Designerleuchten für Wohn- und Geschäftsräume.
ribag-licht.com	Leuchtenfirma mit grossem Angebot an Officeleuchten.
arcotronic.ch	Die Firma bietet Adapter für Lampen und Vorschaltgeräte an.
tridonic.com	Hersteller von Betriebs- und Steuergeräten für Entladungslampen und LED

<b>Messen und Simulieren</b>	
<b>www</b>	<b>Beschreibung</b>
metas.ch	Das professionelle Schweizer Messlabor für Lampen und Leuchten. Detaillink: metas.ch/metasweb/Fachbereiche/Optik_und_Faseroptik/Lichtmesslabor
relux.ch	Gebührenfreie Software zur Simulation von Beleuchtungsanlagen mit 200 000 Leuchten
dialux.de	Die europäische Konkurrenz zur Schweizer Firma Relux bietet ebenfalls eine gebührenfreie Software zur Simulation von Beleuchtungsanlagen.
jeti.com	Hersteller von Messgeräten für spektrale Farbmessungen von Lichtquellen
technoteam.de	Messgerätehersteller für professionelle Lichtmesstechnik
konicaminolta.ch	Die beste Wahl für Beleuchtungsstärkemessgeräte (Luxmeter) sowie Leuchtdichtemessgeräte

<b>LED-Hersteller (Auswahl)</b>	
<b>www</b>	<b>Beschreibung</b>
cree.com	Die in Fachkreisen als bester LED-Hersteller gehandelte Firma aus den USA.
bridgelux.com	US-amerikanischer Hersteller von LED-Komponenten
nichia.co.jp	Einer der grossen LED-Hersteller aus Japan
samsungled.com	Bei LED-Fernsehern führend, bietet Samsung auch sehr gute LED-Komponenten für Beleuchtungen an.
osram-os.com	Die LED-Firma von Osram heisst Osram Opto Semiconductors.
philipslumileds.com	Die LED-Firma von Philips heisst Philips Lumiled.
<b>Verbände und Organisationen (Auswahl)</b>	
<b>www</b>	<b>Beschreibung</b>
fvb.ch	Der Fachverband der Beleuchtungsindustrie wird von massgebenden Herstellern von technischen Leuchten, Komponenten und Lichtquellen getragen.
slg.ch	Schweizerische Licht-Gesellschaft
sia.ch	Der Schweizerische Ingenieur- und Architekten-Verein erarbeitet Normen und Standards für Bauten und Anlagen.
minergie.ch	Minergie ist ein Qualitätslabel für energieeffiziente Gebäude. Die Marke wird von der Wirtschaft, den Kantonen und dem Bund gemeinsam getragen.
litg.de	Deutsche Lichttechnische Gesellschaft
cen.eu	Organisation für die Planung, Ausarbeitung und Verabschiedung von europäischen Standards in allen Bereichen der wirtschaftlichen Tätigkeit mit Ausnahme der Elektrotechnik (CENELEC) und der Telekommunikation (ETSI)
cenelec.eu	Europäisches Komitee für die Normung im elektrotechnischen Bereich
celma.org	Verband von 19 nationalen Verbänden von Herstellern von Leuchten und elektrotechnischen Komponenten für Leuchten
zvei.org	Deutscher Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie
zhagastandard.org	Zhaga erarbeitet Standard-Spezifikationen von LED-Komponenten.
<b>Informationsplattformen</b>	
<b>www</b>	<b>Beschreibung</b>
toplicht.ch	Informationsplattform für effiziente Beleuchtung mit zahlreichen Dokumenten zum Downloaden und einer Liste aller nach Minergie zertifizierten Leuchten für Dienstleistungs- und Industriebauten. Eine Webseite der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E.
topten.ch	Die besten Sparlampen, LED-Lampen und Wohnraumleuchten
faktor.ch	Informationen zum nachhaltigen Bauen, Verlagsprodukte
darksky.ch	Dark-Sky Switzerland (DSS) ist eine Non-Profit-Organisation, die sich für die Reduktion der Lichtverschmutzung einsetzt.
on-light.de	Deutsche Internetplattform mit Adressportal und Informationen zum Thema «Licht im Netz»
lichtnet.de	Internetseite der Fachzeitschrift «Licht» – der (fast) einzigen und wichtigsten Lichtzeitschrift im deutschsprachigen Raum
lichtkonserve.de	Für alle, die nicht Abschied nehmen wollen von der Glühlampe, bietet diese Webadresse Glühlampen in Konservendosen an.

## 9.3 Schlagwortverzeichnis

### Symbole

30°-Regel 126  
45°-Regel 127  
2000 Watt 155

### A

Abstrahlcharakteristik 95  
Anlaufzeit 25  
Assoziation 7  
Ausführungskontrollen 58  
Ausreichende Helligkeit 126  
Automatische Regelung 55

### B

Balkontiefe 38  
Beleuchtungs-Check 51  
Beleuchtungsplanung 117  
Beleuchtungsstärke 16, 30, 32, 41  
Beleuchtungsstärke messen 53  
Beleuchtungsstärkeverteilung 153  
Berechnung des Energiebedarfs 39  
Betriebsoptimierung 128  
Bewertung des Energiebedarfs 39  
Binning 75  
Biologische Wirkung 8  
Black-Body-Kurve 79  
Blaulicht 85  
Blendziffer 30

### C

Candela 14  
CCD-Bildsensor 107  
CCR-Verfahren 74  
CELMA 32  
CIE-Normfarbsystem 78  
Consumer-Markt 20  
CRI – Color Rendering Index 79

### D

Dachsensoren 107  
DALI 102  
Deklarationspflicht 23  
Designerleuchten 92  
Digitalkamera 103  
Dimmen von LED 73  
Dimmen von Leuchtstofflampen 66  
DIN 5031 44  
Drehspiegel-Fotogoniometer 95

### E

Effelux 58  
Effizienzklassen 22  
Einzelanforderungen 29  
Elektrische Energie im Hochbau 28  
Elektromagnetische Strahlung 6  
Elektronisches Vorschaltgerät EVG 32, 64  
Elektrosmog 87  
EN 12464 44  
EN 15193 36, 46  
Energiebezugsfläche 29  
Energiebilanz Beleuchtung 19  
Energieeffizienz 12, 156, 157  
Energieetikette für Leuchten 21, 133  
Energieoptimierungen 124  
Energie- und Leistungsmessgerät 113  
Energy Saver 23  
Energy-Tools 49  
EN ISO/IEC 17025 97  
Entladungslampen 67  
EPBD – EU Gebäuderichtlinie 28  
Eulum-Datei 96  
EUP Energy – Using Products 22

### F

Farbdreieck 79  
Farbmodulation bei LED 74  
Farbort 84  
Farbraum 78  
Farbspektrum 77  
Farbtemperatur 25, 77  
Farbwiedergabe 25, 46, 76  
Farbwiedergabeindex 79, 83  
Fassadenbeleuchtung 159  
Fenstersturz 36  
Fotogoniometer 68  
Foto-Zelle 106

### G

Gesamtenergiebilanz 19  
Glas- zu Bodenfläche 36, 54  
Globalstrahlung 111  
Glühlampenverbot 22  
Grauplan 118  
Grenzwerte SIA 380/4 29, 39, 43

**H**

Halbautomatische Regelung 55  
 Halogenlampen 61  
 Halogenmetaldampflampen 67  
 Heimleuchten 89  
 Hellempfindung 7  
 Herstellungsenergie 87  
 Human-Sensitiv-Lighting-Konzept 123

**I**

Installierte Leistung 31  
 IR-Kamera 103

**K**

KNX-Standard 102  
 Konstantlichtregelung 110, 125  
 Konventionelles Vorschaltgerät KVG 64

**L**

Lampenlichtstromerhalt 25  
 Lampentyp 63  
 Lebensdauer 24  
 Lebensdauerfaktor 24  
 Lebensdauer von LED 76  
 LED-Leuchten 161  
 LED – Licht emittierende Dioden 59, 71  
 Leistungsfaktor 25, 83  
 Leuchtdichte 17  
 Leuchtenbetriebswirkungsgrad LOR 33  
 Leuchten-Effizienz-Faktor LEF 33, 97  
 Leuchtersatz 128  
 Leuchtstofflampen 62, 151  
 Lichtausbeute 32, 63  
 Lichtbänder 112  
 Lichtführung 118  
 Licht-Logger 110  
 Lichtmanagementsystem 102, 108  
 Lichtpunkthöhe 30  
 Lichtregulierung 38, 55, 124, 129  
 Lichtstärke 14, 96  
 Lichtstrom 15, 30, 63, 81  
 Lichttransmission 54  
 Lichtverschmutzung 134  
 Lichtverteilungskurve LVK 84, 95  
 Lichtverteilung 121  
 Lichtwirkung 117  
 Look-up-Wahrnehmung 9  
 Lumen 15

Lux 16

Luxmeter 53

**M**

Manuelle Steuerung 55  
 Mattierte Lampen 23  
 Maxwell 6  
 Messlabors 98  
 Metaldampflampe 159  
 Metalle der Seltenen Erden 72  
 METAS 100  
 Minergie-Beleuchtung 48  
 Minergie-Leuchten 97, 122  
 Minergie-Modul 121  
 Minergie-Standard 48  
 Modelling 46

**N**

Nahfeld-Fotogoniometer 96  
 Neonröhre 64  
 Nichtvisuelle Effekte 11  
 Normung 28, 36, 44, 46, 96, 97, 119  
 No-Sky-Line 126

**O**

Oberlichter 38  
 OLED 71  
 Optimierung 119  
 Outphasing 23

**P**

PAL-Technik 74  
 Passiv-Infrarot-Sensor PIR 103  
 Photopisches Maximum 11  
 Planungsfaktor 32  
 Präsenzmelder 55, 110  
 Professionelle Leuchten 89  
 Professioneller Markt 19  
 Projektwerte 29  
 PWM-Verfahren 73

**Q**

Qualitäts-Charta für LED 85  
 Qualitätssicherung 57  
 Quecksilber 25

## R

Radar 106  
Raumhelligkeit 35  
Raumindex 30, 52  
Raumreflexion 38  
Raumwirkung 117  
Raumwirkungsgrad 34  
Reflexionsgrad 35  
Regelmässige Nutzung 55  
Relux-Datenbank 48  
ReluxEnergyCH 49  
Relux-Suite 50  
Remissionsfläche 161  
Retrofit 128

## S

Schaltzyklen 24  
Schlaf-Wach-Rhythmus 12  
Sehaufgabe 151  
Sehen 7  
Sehvermögen 9  
SIA 28  
SIA 108 119  
SIA 380/4 28  
SIA 2024 119  
Signalübertragung 101  
Sockeltyp 61  
Sockeltypen 129  
Söllner-Diagramm 44  
Sonnenschutz 38, 54  
Sparlampen 64  
Sparpotenziale 133  
Spezialleuchte 159  
Sporadische Nutzung 55  
Stäbchen 8  
Standardnutzungen 39  
Standby 98, 157  
Streiflichter 34  
Strassenbeleuchtung 20  
Stromeinsparung 25  
Systemanforderung 29  
Systemleistung 52, 63

## T

Tagelichtsensor 119  
Tageslicht 124  
Tageslichtautonomie 124  
Tageslichtnutzung 54  
Tageslichtquotient 126, 127  
Teil-Energiekennzahl Beleuchtung 29  
Temperatureinfluss 67  
Temperaturstrahler 59

Thermomanagement 118  
Toplicht 98  
Transmissionsgrad 36  
True-White-Technik 74  
Typische Räume 51

## U

UGR-Verfahren 45  
UGR-Wert 30  
Ulbrichtkugel 67  
Ultraviolett-Strahlung 25  
Unterhaltskosten 132

## V

Verbauungen 127  
Verbauungswinkel 38  
Verschattungen 127  
Visuelle Prozesse 8  
V-Lambda-Kurve 16  
Volllaststunden 29, 119  
Vorzeitiger Ausfall 24

## W

Wahrnehmen 7  
Wahrnehmungsprozesse 8  
Wartungsfaktor 47  
Wartungskosten 132  
Wellenlänge 6  
Winterdepression 12  
Wirkungsgradverfahren 31  
Wirtschaftlichkeit 115, 132

## Z

Zapfen 8  
Zertifikat 99  
Zielwerte SIA 380/4 29, 39, 43  
Zündzeit 25  
Zylindrische Beleuchtungsstärke 46